

Aus der Kinderklinik und Poliklinik  
der Universität Würzburg  
Direktor: Prof. Dr. med. C. P. Speer

---

Thermografische Messungen der Hauttemperatur bei Neugeborenen:  
Effekte unterschiedlicher Infrarot-Strahler

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von  
Verena Löwe  
aus  
Würzburg

Würzburg, Februar 2009

Referent: Prof. Dr. med. Dominique Singer

Koreferent: Prof. Dr. med. Johannes Dietl

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 25.06.2009



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Physiologische Grundlagen der Thermoregulation.....	1
1.2 Physikalische Grundlagen der Wärmestrahlung.....	2
1.3 Differente Effekte unterschiedlicher Strahlungsarten.....	5
1.4 Technik der Thermografie .....	7
1.5 Fragestellungen der Arbeit .....	9
 <b>2 Material und Methoden.....</b>	<b>10</b>
2.1 Patientenkollektiv.....	10
2.2 Untersuchungsgang .....	11
2.2.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle .....	13
2.2.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung .....	13
2.2.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung.....	13
2.3 Thermografie .....	14
2.4 Datenauswertung .....	15
2.4.1 Berechnung der mittleren Oberflächentemperatur .....	15
2.4.2 Datenverarbeitung und Statistik .....	17
 <b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>18</b>
3.1 Biografische Daten .....	18
3.2 Klinische Untersuchungen.....	20
3.2.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle .....	20
3.2.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung .....	22
3.2.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung.....	23
3.3 Untersuchungsdauer .....	25

<b>4 Diskussion .....</b>	<b>27</b>
4.1 Einzelanalyse der Aufnahmeserien .....	28
4.1.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle .....	28
4.1.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung .....	30
4.1.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmestrahlung: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung.....	31
4.1.4 Direkte Gegenüberstellung der verschiedenen Wärmestrahler .....	32
4.2 Vergleichende Bewertung der Messergebnisse .....	34
4.2.1 ...unter physiologisch-thermoregulatorischen Gesichtspunkten.....	34
4.2.2 ...unter klinisch-neonatologischen Gesichtspunkten.....	36
4.2.3 ...unter methodisch-thermografischen Gesichtspunkten.....	38
 <b>5 Zusammenfassung .....</b>	 <b>40</b>
 <b>6 Literaturverzeichnis.....</b>	 <b>42</b>
 <b>7 Tabellarischer Anhang .....</b>	 <b>46</b>

## Abkürzungsverzeichnis

$\Delta T$	Temperaturdifferenz
GA	Gestationsalter
GG	Geburtsgewicht
GL	Geburtslänge
IR	Infrarot
KU	Kopfumfang
LA	Lebensalter
$\Lambda$	Wellenlänge
LBW	low birth weight (infants)
MW	Mittelwert
n.s.	nicht signifikant
P	p-Wert: Signifikanzmaß
SSW	Schwangerschaftswochen
STABWN	Standardabweichung
$T_o$	Oberflächentemperatur
U2	Zweite Vorsorgeuntersuchung
VarK	Variationskoeffizient
VLBW	very low birth weight (GG < 1500 g)
wIR-A	wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung

# **1 Einleitung**

## **1.1 Physiologische Grundlagen der Thermoregulation**

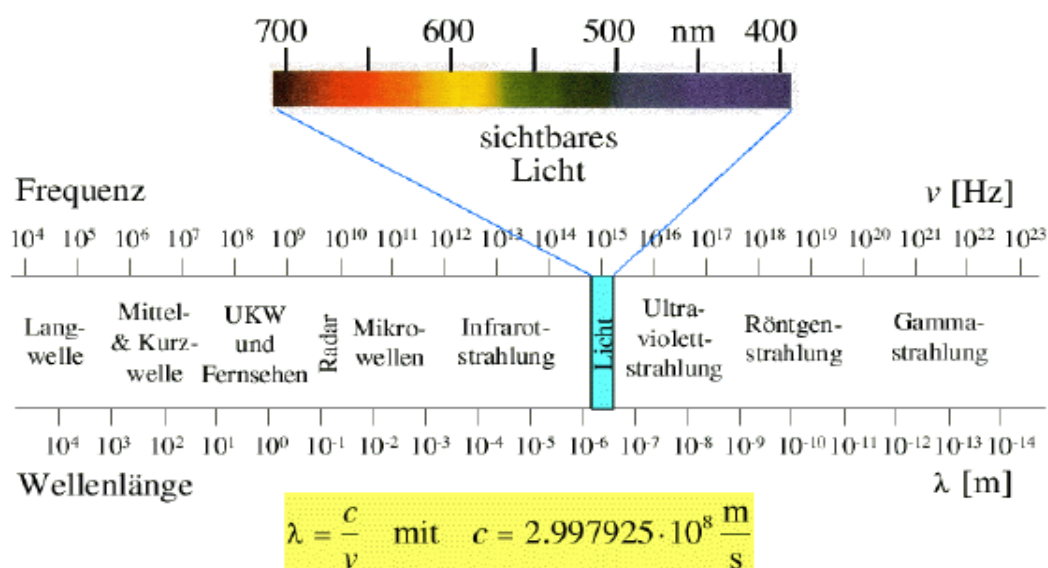
Die Mechanismen der Thermoregulation beim Neugeborenen, welche die Konstanz der Körperkerntemperatur trotz schwankender Umgebungstemperatur zum Ziel haben, lassen sich in zwei Phasen unterteilen. Sinkt die Körpertemperatur ab, so versucht der Körper in einem ersten Schritt über Vasokonstriktion in der Körperperipherie Wärmeverluste einzuschränken und über eine Umverteilung des Blutvolumens die vorhandene Wärme im Körperkern zu konzentrieren (Zentralisation). Beim Erwachsenen wird dann in einem zweiten Schritt durch unwillkürliches Muskelzittern aktiv Wärme produziert. Das Neugeborene jedoch produziert seine Eigenwärme nicht in Form von Kältezittern, sondern mittels der so genannten zitterfreien Wärmebildung durch die Oxidation von Fettsäuren im braunen Fettgewebe (Gunn, 1995; Silbernagl, 2001, Asakura, 2004). Das ungünstige Oberfläche-Volumen-Verhältnis (große, Wärme abgebende Körperoberfläche und kleiner, Wärme speichernder Körperkern) ist die Ursache dafür, dass gerade Neugeborene besonders schnell auskühlen. Schon bei milden Umgebungstemperaturen von 20 °C - 25 °C müssen die Neugeborenen maximale Thermogenese betreiben, um ihre Körpertemperatur konstant zu halten. Fällt die Umgebungstemperatur weiter ab, so erschöpfen sich die beschriebenen Kapazitäten zur Wärmeproduktion relativ rasch und die Körpertemperatur droht abzusinken.

Eine Unterkühlung und deren weitreichende Folgen für den kindlichen Organismus verdienen besondere Aufmerksamkeit, weil mit dem Unterschreiten von rektal gemessenen Temperaturen unter 36 °C (Hypothermie) eine signifikante Zunahme der Morbidität und Mortalität im Neugeborenenalter verbunden ist (Singer et al. 2000; Cramer et al. 2005; Higgins 2005). Ursache dafür ist der maximale Anstieg des Sauerstoffbedarfs, welcher im Widerspruch zu einem (aufgrund von gedrosselter Durchblutung und gerade erst einsetzender Lungenatmung) verminderten Sauerstoffangebot steht.

Schon kurze Phasen der Unterkühlung können somit zu einer Hypoxie und letztlich einer lebensgefährlichen Azidose führen (Gunn, 1978; Gunn, 1995). Primäres Ziel ist es daher, eine Unterkühlung wegen möglicher schwerwiegender Folgeerkrankungen von Anbeginn zu vermeiden. Dies erreicht man derzeit, indem zum einen thermische Verluste so gering wie möglich gehalten werden (bis zu 27 °C warmer Kreißsaal, unmittelbar postnatales Wickeln der Kinder in Frotteetücher). Zum anderen führt man den Neugeborenen zusätzlich Wärme zu, um bereits entstandene Wärmeverluste auszugleichen und eine adäquate Warmhaltung der Kinder anzustreben. Hierzu kommen – neben Wärmebetten und Inkubatoren – im Klinikalltag Wärmestrahler zum Einsatz. Die verschiedenen Varianten dieser Methode der Wärmezufuhr, welche auch direkt nach der Geburt angewendet wird, sollen im Rahmen dieser Arbeit genauer betrachtet werden.

## 1.2 Physikalische Grundlagen der Wärmestrahlung

Physikalisch gesehen handelt es sich bei Wärmestrahlung um elektromagnetische Wellen. Sie umfassen Wellenlängen im Bereich zwischen 1 mm und 750 nm (**Abb. 1**). Diese Strahlung ist zwar für den Menschen nicht sichtbar, in Form von Wärme aber zu spüren (Gerthsen 2006).

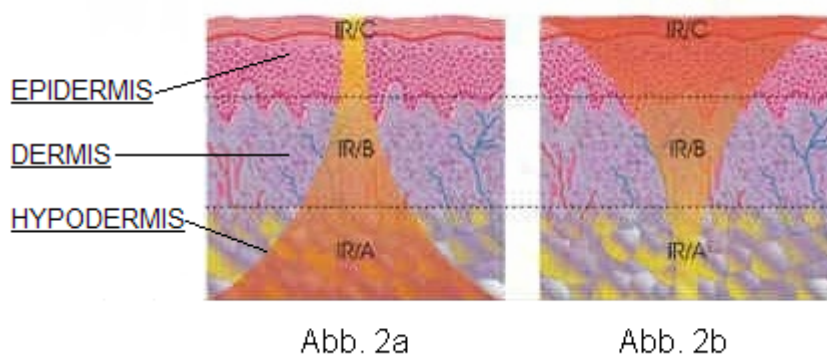


**Abb. 1:** Spektrum der elektromagnetischen Wellen (aus: <http://www.physik.uni-muenchen.de>)

Die Infrarotstrahlung wird (ebenso wie die ultraviolette Strahlung) nochmals in drei Bereiche aufgeteilt: IR-A: 0,76  $\mu\text{m}$  bis 1,4  $\mu\text{m}$ ; IR-B: 1,4  $\mu\text{m}$  bis 3,0  $\mu\text{m}$ ; IR-C: 3,0  $\mu\text{m}$  bis 1000  $\mu\text{m}$  (Cobarg 1995; Hellige 1995; Dlaboha 2007). Je langwelliger eine Strahlung ist, umso geringer ist ihre Energie und damit auch die Tiefenwirksamkeit (Hellige 1995).

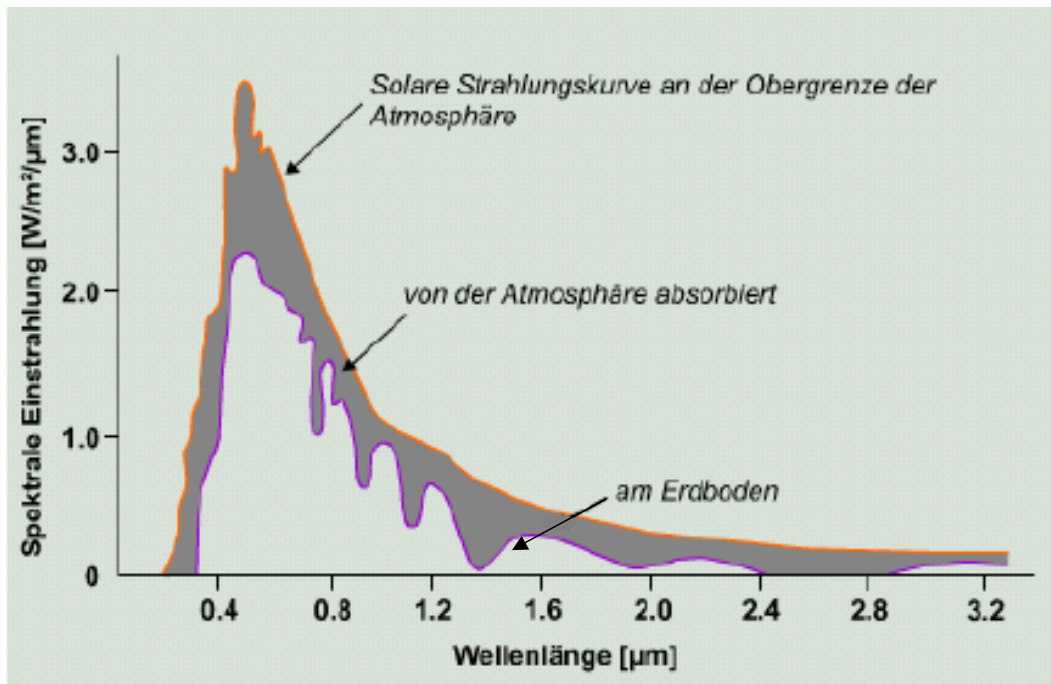
So wird die langwellige, energiearme IR-B- bzw. IR-C-Strahlung vor allem in oberflächlich gelegenen Hautregionen absorbiert (Buchmüller 1961). Verantwortlich dafür sind wasserhaltige Moleküle, die hauptsächlich superfiziell lokalisiert sind und bevorzugt von langwelliger Strahlung angeregt werden (Henschke 1939). In der Folge reichert sich die aufgenommene Wärme vor allem oberflächlich an. Deshalb kommt es zu einer starken oberflächlichen Erwärmung, wobei auch unter Applikation therapeutischer Strahlendosen Verbrennungen hervorgerufen werden können (Witte 1937; Stolwijk and Hardy 1964; Cobarg 1995; Singer 2000). Die Tiefenwirksamkeit ist dagegen äußerst gering (**Abb. 2b**).

Im Gegensatz dazu dringt die kurzwellige, energiereiche IR-A-Strahlung tiefer ins Gewebe ein, ohne von den oberflächlichen Hautschichten nennenswert absorbiert zu werden. Folglich ist auch die superfizielle Überwärmung geringer ausgeprägt (**Abb. 2a**).



**Abb. 2:** Unterschiedliche Eindringtiefe von kurzwelliger (IR-A) und langwelliger (IR-B/IR-C) Infrarotstrahlung (aus: <http://www.hydrosun.de>)

Bei der **Sonnenstrahlung** sorgt der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf dafür, dass die langwelligen, energiearmen Strahlenbestandteile IR-B und IR-C absorbiert werden. Die restliche, am Erdboden ankommende Infrarot-Strahlung besteht damit zu einem sehr großen Anteil aus IR-A (**Abb. 3**). Diese kann vom Menschen weitaus länger ertragen werden und wird als vergleichsweise angenehm empfunden (Witte 1937).



**Abb. 3:** Absorption von Sonnenstrahlung durch den Wasserdampf der Atmosphäre  
(aus: <http://fern39.unitrier.de>)

Konventionelle, bisher standardmäßig im Bereich der Neonatologie eingesetzte **Wärmestrahler** emittieren überwiegend IR-B und IR-C. Dementsprechend werden bei dieser Bestrahlungstechnik auch die mit IR-B und IR-C assoziierten Nebenwirkungen (Verbrennungsrisiko) beobachtet.

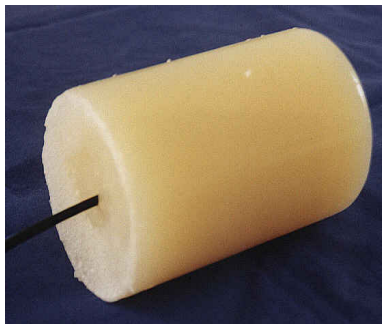
Durch den Einsatz der neueren, wassergefilterten IR-A-Bestrahlungstechnik wurde eine schonendere Methode der Wärmezufuhr geschaffen, welche sich durch eine bessere Tiefenerwärmung bei geringerer Oberflächenbelastung auszeichnet.

Um das Prinzip der Sonnenstrahlung nachzuahmen, wurde zunächst eine Wärmelampe entwickelt, deren Wellenlängenbereich sich durch ein Filtersystem aus Wasserdampf zwischen 0,76 µm und 1,4 µm befand (Witte 1937). Heutzutage verwendet man zur Aufhärtung eine Wasserküvette, in

welcher durch moderne Kühltechniken das Wasser nicht mehr zu sieden beginnt (Rzeznik 1995). Dadurch konnten bei gleicher Wärmeleistung langwellige Strahlen ausgeblendet werden, wodurch es zu einer größeren Tiefenwirksamkeit kommt (Krüger et al. 1995). Schmerzhafte Empfindungen und Verbrennungen lassen sich dadurch weitgehend vermeiden (Cobarg 1995). Bei der Konstruktion handelt es sich somit um einen qualitativ und quantitativ sonnenähnlichen Strahler.

### 1.3 Differente Effekte unterschiedlicher Strahlungsarten

Diese physikalischen Unterschiede in der Qualität von Wärmestrahlung wurden bereits in modellbasierten Voruntersuchungen nachgewiesen. An einem Agar-Phantom, welches den thermischen Eigenschaften von menschlichem Gewebe (Übereinstimmung von spezifischer Wärmekapazität, Evaporationsrate und Emissionskoeffizient; **Abb. 4**) entspricht (Singer 2000), konnten bereits wichtige Erkenntnisse über Temperaturveränderungen unter verschiedenen Strahlungsarten (konventionelle Infrarot-Strahlung versus wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung) gewonnen werden.



#### **Zusammensetzung**

1000 g enthalten:  
930 ml Wasser, 4,3 g NaCl  
37 ml Formaldehyd, 30 g Agar

#### **Thermische Eigenschaften**

Spezifische Wärmekapazität:  
 $\approx$  Muskelgewebe ( $3,6 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

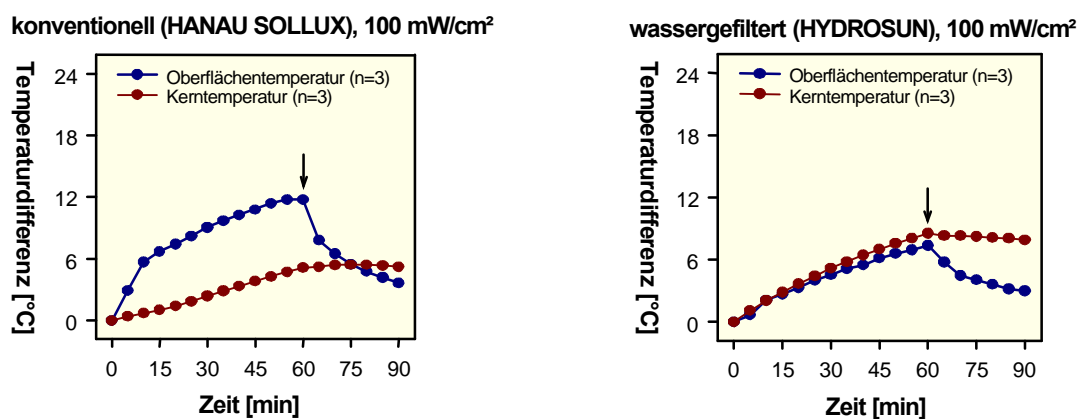
Evaporationsrate:  
 $\approx$  Frühgeborenes ( $2,2 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} \cong 1,5 \text{ W}$ )

Emissionskoeffizient:  
 $\approx$  menschl. Haut (0,9 - 1,0)

**Abb. 4:** Zusammensetzung und thermische Eigenschaften eines Agar-Phantoms  
(aus: Singer et al. 2003)



Bezüglich ihrer unterschiedlichen Wirkung auf die Körperoberflächen- und Körperkerntemperatur zeigten sich folgende Ergebnisse (**Abb. 5**):



**Abb. 5:** Veränderung der Körperoberflächen- und Körperkerntemperatur eines Agar-Phantoms unter verschiedenen Strahlungsarten; links konventionelle IR-Strahlung, rechts wassergefilterte IR-A-Strahlung (aus: Benninghoff et al. 2001)

Bei der Anwendung konventioneller Strahler eilt die Oberflächentemperatur der Kerntemperatur voraus. Der Einsatz von wassergefilterter Infrarotstrahlung bewirkt hingegen bei identischer Strahlungsleistungsdichte eine homogene Durchwärmung des „Gewebes“.

Aufbauend auf diesen Untersuchungen am Phantom wurden bereits in früheren Arbeiten (Schröder 2000, Aumann 2001) begleitende Untersuchungen am Patienten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigten, dass wassergefilterte Infrarot-Strahlung für den Einsatz zur thermischen Protektion im Kreißsaal und auf neonatologischen Stationen geeignet ist und sich unterstützend auf die Stabilisierung der Körperkerntemperatur auswirkt (Singer et al. 2000).

Wie sich die oberflächliche Hauttemperatur bei Neugeborenen unter den verschiedenen Strahlungsarten verhält, wurde in der vorliegenden Arbeit genauer untersucht, wobei die Methode der Infrarot-Thermografie zur Anwendung kam.

## 1.4 Technik der Thermografie

Die Infrarot-Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren, welches die primär für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung (Infrarotlicht) eines Körpers oder Objektes sichtbar macht. Wärmeempfindliche Sensoren registrieren die Energie der emittierten Strahlung des IR-Spektrums. Von jedem Punkt der Oberfläche wird unterschiedlich viel Wärme abgegeben. Die punktuell emittierte Wärme entspricht unterschiedlichen Wellenlängen, welche dann in ein Farbspektrum transponiert werden. Die Farbskala der „Falschfarben“ reicht von Blau (der minimalen Temperatur entsprechend) über Grün, Rot und Gelb bis Weiß (der maximalen Temperatur entsprechend). Somit kann jedem Messpunkt der Körperoberfläche die Energie bzw. Wellenlänge der von diesem emittierten elektromagnetischen Strahlung zugeordnet werden. Da die Energie der registrierten Strahlung in einem gesetzmäßigen Verhältnis zur absoluten Temperatur eines Körpers bzw. Messpunktes steht, können präzise Rückschlüsse auf die zugrunde liegende Temperatur gezogen werden.



**Abb. 6:** Thermografische Aufzeichnung des Wärmeverlustes zweier unterschiedlich gut gedämmter Häuser; links gute Isolation, rechts starke Wärmeabstrahlung über die Außenfassade (aus: <http://www.heiz-tipp.de>)

IR-Kameras werden im gesamten medizinischen Sektor ebenso wie in der Baubranche, der Kfz-Technik und beim Militär (Nachtsichtgeräte) eingesetzt. Allgemein bekannt geworden ist diese Aufnahmetechnik unter anderem durch die Untersuchung von Gebäuden, wobei hier der Schwerpunkt auf das Erkennen von Wärmeisolationsfehlern gelegt wurde. **Abb. 6** zeigt beispielhaft das Nebeneinander von unterschiedlich gut gedämmten Häusern. An diesem Beispiel wird auch deutlich, dass in der Thermografie einzig Aussagen über Temperaturverhältnisse an Oberflächen getroffen werden können. Die Wärmeverhältnisse von tiefer gelegenen bzw. hinter der Außenfassade befindlichen Strukturen sind nicht einsehbar. So gibt das links stehende, gut wärmeisolierte Haus keine Aufschlüsse über die im Inneren des Hauses herrschende Temperatur. Die Wärmeverteilung innerhalb des rechten, nach außen Wärme abstrahlenden Hauses ist besser einzusehen.

Die Infrarot-Thermografie kann man aber auch zur Messung von Körperoberflächentemperaturen nutzen. In der medizinischen Diagnostik wird dieses Verfahren beispielsweise zur Untersuchung der weiblichen Brust verwendet (**Abb. 7**).



**Abb. 7:** Exemplarische Thermogramme (aus: <http://www.infratec.de>)

Für den Einsatz in der Neonatologie ist diese Technik nicht zuletzt aufgrund des berührungslosen Messvorgehens besonders gut geeignet.

## 1.5 Fragestellungen der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu überprüfen, ob die in methodisch-physikalischen Voruntersuchungen nachgewiesenen differenten Effekte unterschiedlicher Infrarot-Strahler auch in einer klinisch-neonatologischen Routineanwendung erkennbar sein würden. Hierzu wurde an einem Kollektiv gesunder, reifer Neugeborener die Vorsorgeuntersuchung U2, die bei allen Kindern zwischen dem 2. und dem 10. Lebenstag durchgeführt wird, unter drei verschiedenen thermischen Protektionsbedingungen (ausschließlich warme Raumluft ohne zusätzliche Wärmequelle; mit zusätzlicher Wärmequelle in Form von konventioneller Infrarot-Strahlung; mit zusätzlicher Wärmequelle in Form von wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung) vorgenommen. Nachdem die prinzipielle Eignung beider Strahlenarten zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur bereits in früheren klinischen Anwendungsbeobachtungen belegt worden war, wurde hier als „Zielparameter“ die Körperoberflächen-temperatur und ihre Veränderung unter den verschiedenen Bestrahlungsformen ausgewählt. Sie wurde mit der Methode der Thermografie beobachtet, die sich angesichts der berührungslosen Messung besonders für die Anwendung an Neugeborenen eignet. Da mit dieser Methode aber meist nur qualitative Befunde erhoben werden, sollte hier zugleich geprüft werden, ob und wie sich durch ein geeignetes Auswertungsverfahren aus den „bunten Wärmebildern“ auch sinnvolle quantitative Aussagen ableiten lassen.

## 2 Material und Methoden

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden über einen Zeitraum von 13 Monaten im Kinderzimmer und auf der Neugeborenenstation „Wolkennest 2“ des Perinatalzentrums am Universitätsklinikum Würzburg durchgeführt.

Es wurden ausschließlich gesunde, reife Neugeborene untersucht. Die Untersuchungen wurden unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, wobei drei Gruppen unterschieden wurden:

1. Raumtemperatur 25 °C ohne zusätzliche Wärmezufuhr (bisheriges Routinevorgehen im Kinderzimmer);
2. zusätzliche Wärmezufuhr mit konventioneller Infrarot-Strahlung;
3. zusätzliche Wärmezufuhr mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung.

Dabei wurden die Neugeborenen jeweils an ihrem zweiten bis vierten Lebenstag anlässlich der Vorsorgeuntersuchung U2 mittels einer Thermografiekamera „gefilmt“. Die Untersuchung fand in allen Fällen im Beisein und mit dem ausdrücklichen, schriftlich erklärten Einverständnis der Eltern statt. Durch die Untersuchung entstanden für die Neugeborenen keine zusätzlichen Belastungen in Form von körperlichem oder psychischem Stress, da die Vorsorgeuntersuchung U2 ohnehin eine komplette Entkleidung der Kinder voraussetzt.

### 2.1 Patientenkollektiv

Bei den untersuchten Neugeborenen handelte es sich ausschließlich um Kinder, welche in der Würzburger Universitätsfrauenklinik geboren wurden. Die Auswahl der Neugeborenen wurde ebenso wie die Einteilung in die einzelnen Untersuchungsreihen zufällig vorgenommen.

Um die verschiedenen Neugeborenen aus den drei Aufnahmeserien vergleichen zu können, wurden von allen Neugeborenen die in **Tab. 1** aufgeführten Parameter erhoben.

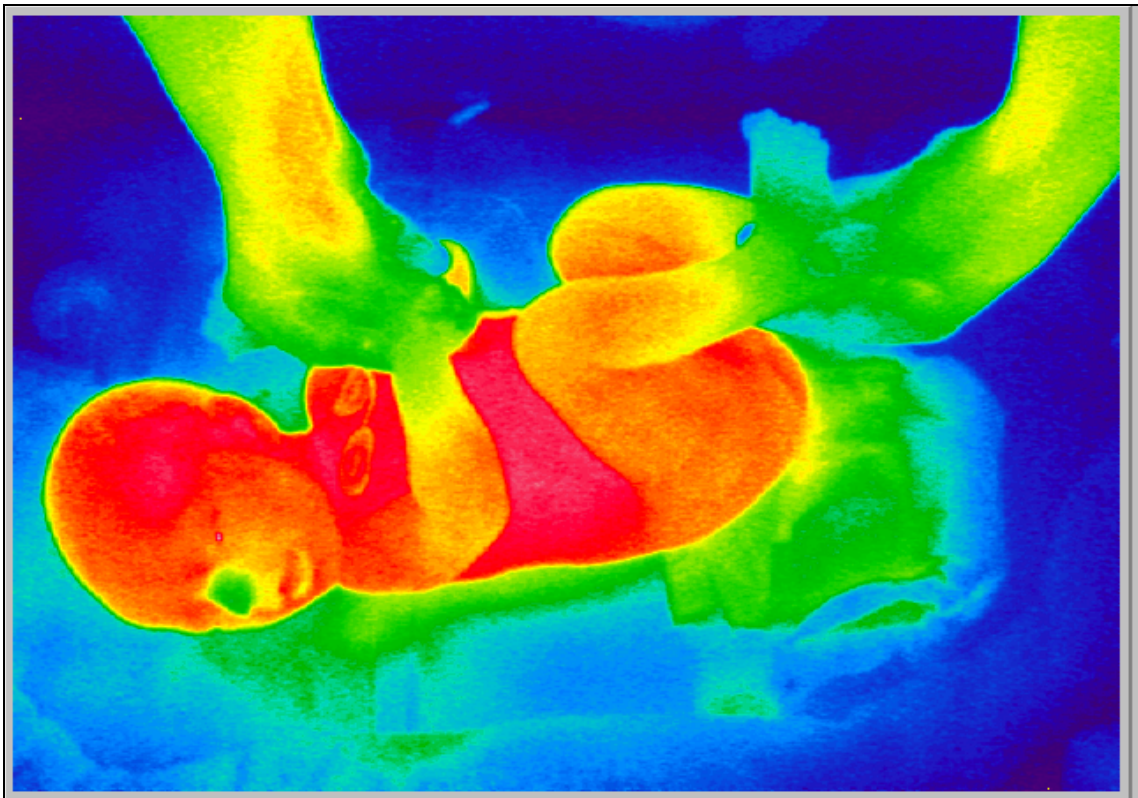
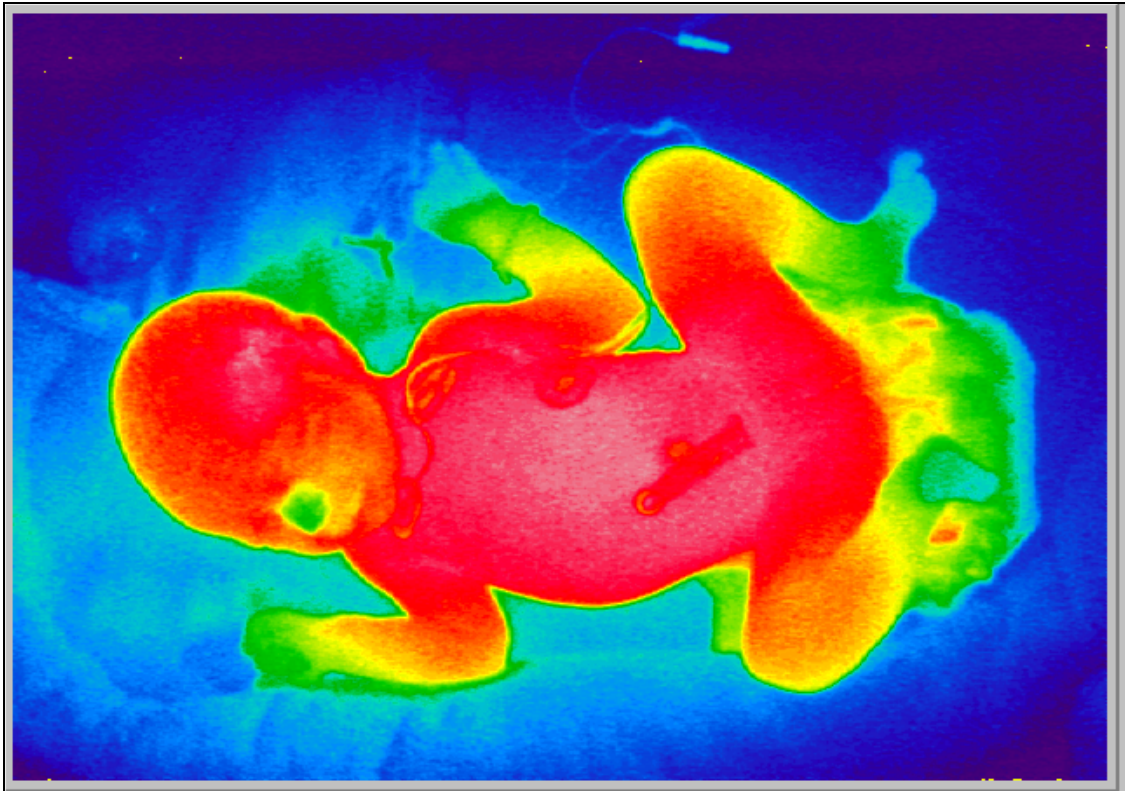
- **Gestationsalter GA (in Schwangerschaftswochen)**
- **Geburtsgewicht GG (in Gramm)**
- **Geburtslänge GL (in Zentimetern)**
- **Kopfumfang KU (in Zentimetern)**
- **Nabelarterien-pH**
- **Nabelarterien-Base excess BE (in Millimol pro Liter)**
- **APGAR-Score**
- **Lebensalter (in Tagen)**
- **Aktuelles Gewicht (in Gramm)**
- **Gesamtdauer der Vorsorgeuntersuchung U2 (in Minuten)**

***Tab. 1:** Erhobene biografische Daten*

## 2.2 Untersuchungsgang

Der Untersuchungsgang war für die drei in dieser Arbeit untersuchten Patientengruppen grundsätzlich gleich. Die Zimmertemperatur betrug stets 25 °C und wurde durch ein herkömmliches Flüssigkeitsthermometer kontrolliert. Zunächst wurden die Neugeborenen von einer Kinderkrankenschwester aus ihren Wärmebetten auf die (wie üblich mit einem Moltontuch bedeckte) Untersuchungs- und Wickelfläche gelegt und rasch entkleidet, um dann in ihre Schalenbetten zurückgelegt zu werden. Noch vor Beginn der eigentlichen Untersuchung durch den behandelnden Kinderarzt wurden die ersten, sogenannten „Vorher-Bilder“ aufgenommen. Hierzu wurden die entkleideten Neugeborenen einmal in Rückenlage sowie ein weiteres Mal (bei seitlich angewinkeltem und von außen gehaltenem Arm und Bein) in Seitenlage abgebildet (**Abb. 8**). Im Anschluss daran wurde die Vorsorgeuntersuchung U2 durch den behandelnden Kinderarzt vorgenommen. Nach Abschluss der ärztlichen Untersuchung wurden wiederum im Schalenbett nach geschildertem Vorgehen die „Nachher-Bilder“ aufgenommen.





**Abb. 8:** *Aufnahmeposition von vorne und von der Seite*

Um äußere Störfaktoren durch höhere Raumtemperaturen zu vermeiden, wurde in den Sommermonaten auf Messungen verzichtet. Die Untersuchungsreihen wurden wie folgt modifiziert:

#### 2.2.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle

In der ersten Aufnahmeserie wurden zehn Neugeborene bei einer Raumtemperatur von 25 °C ohne Verwendung eines Wärmestrahlers untersucht. Es handelte sich hierbei um das bisherige Routineverfahren im Kinderzimmer der Universitätsfrauenklinik.

#### 2.2.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung

In der zweiten Aufnahmeserie wurden elf Neugeborene unter zusätzlicher Verwendung eines konventionellen (d.h. IR-B- und IR-C-emittierenden) Wärmestrahlers untersucht (Routineverfahren auf der Neugeborenenstation „Wolkennest 2“ der Universitätskinderklinik).

Zum Einsatz kam hier ein Wärmestrahler der Firma Weyer GmbH, 51515 Kürten-Herweg, Modell Ceramotherm® 2000 (**Abb. 9a**), der an der Decke montiert ist und seine Strahlung aus 80 cm Entfernung auf die Untersuchungsfläche richtet. Die Bestrahlungsintensität kann bei diesem Modell frei gewählt werden, wobei die gewählte Heizstufe und der tatsächliche Wert der Wärmeabgabe angezeigt werden. Für die thermografischen Messungen wurde jeweils so vorgegangen, dass 10 Minuten vor Beginn der Untersuchung die Bestrahlungsintensität auf 10 mW/cm<sup>2</sup> eingestellt wurde.

#### 2.2.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung

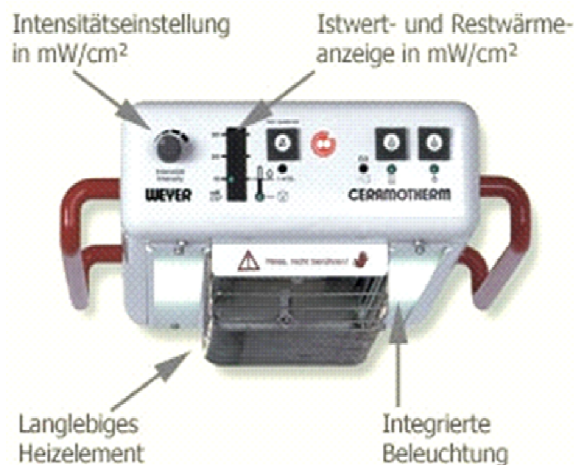
In der dritten Aufnahmeserie wurden 13 Neugeborene unter einem wassergefilterten Infrarot-A-Strahler untersucht. Hierzu wurde das Gerät der Firma Hydrosun Medizintechnik GmbH, 79339 Müllheim, Modell hydrosun® 500F, eingesetzt (**Abb. 9b**). Während der gesamten Untersuchung war der Strahler in ca. 100 cm Entfernung positioniert und der „Lichtkegel“ auf den Rumpf der Neugeborenen gerichtet.



Durch den so gewählten Abstand konnten aufgrund der bekannten technischen Daten vergleichbare Strahlungsleistungsdichten von etwa  $10 \text{ mW/cm}^2$  auf der Untersuchungsfläche erzeugt werden wie in der Aufnahmeserie mit konventioneller Infrarot-Strahlung (vgl. 2.2.2).

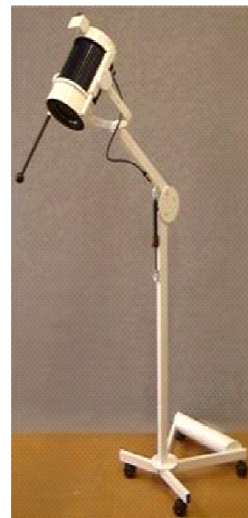
**Abb. 9a)**

- Netzspannung 230V, 50 Hz
- Leistungsaufnahme 690 W/3A
- Wellenlängenbereich 1500 nm bis 6800 nm
- Strahlungsleistungsdichte max.  $14 \text{ mW/cm}^2$ , hier  $10 \text{ mW/cm}^2$



**Abb. 9b)**

- Netzspannung 230V, 50 Hz
- Leistungsaufnahme 520 W
- Wellenlängenbereich 940 nm bis 1180 nm
- Strahlungsleistungsdichte in 100 cm ca.  $10 \text{ mW/cm}^2$



**Abb. 9a/b):** Technische Daten der verwendeten Wärmestrahler:  
links konventioneller Strahler, rechts wIR-A-Strahler  
(nach <http://www.weyermed.com> und <http://www.hydrosun.de>)

### 2.3 Thermografie

Zur Erfassung der Wärmeverhältnisse kam eine Infrarotkamera der Firma Nikon GmbH, 40472 Düsseldorf, Modell LAIRD-S270, zum Einsatz (**Abb. 10**). Diese Kamera wurde an ein bewegliches und höhenverstellbares Stativ montiert. Durch eine Schwenkbewegung wurde die Kamera senkrecht zur horizontalen Arbeitsfläche fixiert. Die Kamera befand sich in einer Arbeitshöhe von 180 cm. Wie vorstehend beschrieben, wurden von jedem Kind insgesamt vier Bilder (zwei „Vorher-Bilder“ und zwei „Nachher-Bilder“, je von vorne und von der Seite) aufgenommen.



- Messbereich 20 bis 250 °C
- Optische Auflösung 475 x 442 Pixel
- Detektor PtSi Schottky-Barrier IR-CCD
- Wellenlängenbereich 3 bis 5  $\mu\text{m}$
- Datenspeicherung PC Flash-card
- Auswertungssoftware PicWin IRIS

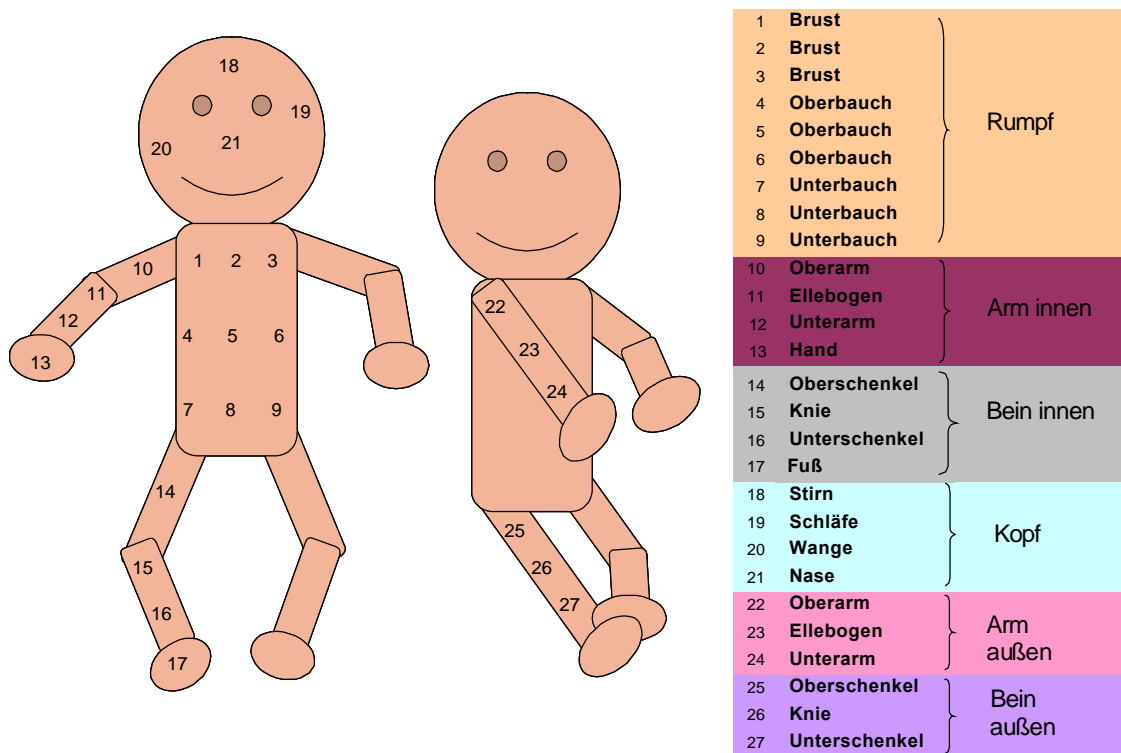
**Abb. 10:** Technische Daten der Nikon LAIRD-S270 (nach: <http://www.iisb.fraunhofer.de>)

## 2.4 Datenauswertung

### 2.4.1 Berechnung der mittleren Oberflächentemperatur

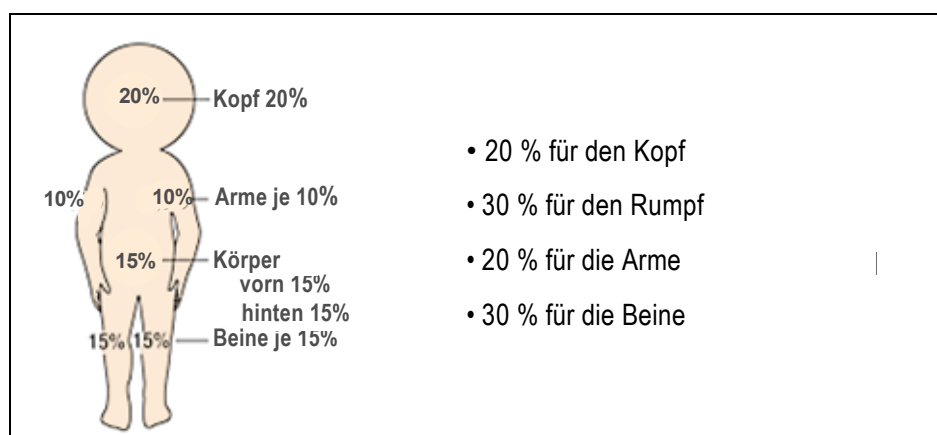
Mit dem Ziel, „aus Farben Zahlen zu machen“, wurde zur Bestimmung der mittleren Oberflächentemperatur ein 27 Punkte-Raster über die thermografischen Aufnahmen der Neugeborenen gelegt (**Abb. 11**). Durch dieses Verfahren konnten die „bunten Bilder“ quantitativ ausgewertet werden.

Die Verteilung der 27 Messpunkte auf die verschiedenen Körperregionen wurde den Körperproportionen der Neugeborenen angepasst. Aus den einzelnen Messpunkten (z.B. Stirn - Schläfe - Wange - Nase) wurden zunächst arithmetische Mittelwerte für die jeweiligen Körperregionen (z.B. Kopf) berechnet. Auf diese Weise konnten die Neugeborenen hinsichtlich der Temperaturveränderung einzelner Körperteile verglichen werden.



**Abb. 11:** Aufnahme- und Verteilung der Messpunkte am Modell

Sodann wurden die einzelnen Körperregionen entsprechend ihrem Anteil an der Gesamtkörperoberfläche gewichtet. Hierzu wurde die sogenannte Neuner-Regel nach Wallace, welche eine klinische Faustregel für die Ausdehnung einer Verbrennung beim Erwachsenen (im Verhältnis zum gesamten Integument) darstellt, in einer für Neugeborene modifizierten Fassung angewandt. Aus diesem Schema ergab sich folgende Aufteilung der Gesamtkörperoberfläche (**Abb. 12**):



**Abb. 12:** Schematische Darstellung der Körperproportionen eines Neugeborenen

Die zuvor bestimmten arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Körperregionen wurden mit den entsprechenden Wichtungsfaktoren multipliziert, um die mittlere Oberflächentemperatur zu berechnen. Wenn also in der vorliegenden Arbeit von der mittleren Oberflächentemperatur die Rede ist, so versteht sich diese als Summe der gewichteten Regionaltemperaturen:

$$T_O = (T_{\text{Kopf}} \times 0,2) + (T_{\text{Rumpf}} \times 0,3) + (T_{\text{Arm}} \times 0,2) + (T_{\text{Bein}} \times 0,3)$$

#### 2.4.2 Datenverarbeitung und Statistik

Die Ergebnisse wurden unter Zuhilfenahme der thermografischen Auswertungs-Software PicWin-IRIS (für Microsoft Windows XP) auf einem PC der Marke Acer, Modell Aspire 1300, analysiert und grafisch dargestellt. Als statistisches Testverfahren kam der Student-t-Test zum Einsatz (Lange et al. 2001); Unterschiede wurden dann als signifikant betrachtet, wenn  $p < 0.05$  war.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Biografische Daten

Eine Gesamtliste aller erhobenen biografischen Daten befindet sich im Anhang. In den nachfolgend wiedergegebenen **Tab. 2, 3 und 4** sind Gestationsalter, Lebensalter, Geburtsgewicht und aktuelles Gewicht für die einzelnen Gruppen aufgeführt.

	<b>Gestationsalter [SSW]</b>	<b>Lebensalter [d]</b>	<b>Geburtsgewicht [g]</b>	<b>aktuelles Gewicht [g]</b>
Kind 1	36 5/7	3	2715	2640
Kind 2	41 3/7	5	3445	3460
Kind 3	41 3/7	2	4170	4030
Kind 4	39 5/7	4	3460	3180
Kind 5	40 4/7	4	3890	3620
Kind 6	39 5/7	1	3350	3350
Kind 7	41	4	3315	3340
Kind 8	37 2/7	4	2770	2620
Kind 9	40 2/7	3	2985	2830
Kind 10	39 2/	2	3240	3130
MW	39 3/4	3	3334	3220
STABWN	1 ½	1	432	420

**Tab. 2:** Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle; biografische Daten

	<b>Gestationsalter [SSW]</b>	<b>Lebensalter [d]</b>	<b>Geburtsgewicht [g]</b>	<b>aktuelles Gewicht [g]</b>
Kind 1	37 3/7	2	3055	2840
Kind 2	37 1/7	4	2570	2360
Kind 3	37 5/7	4	3850	3610
Kind 4	39 7/2	2	3120	2880
Kind 5	40 2/7	3	3160	2985
Kind 6	41 6/7	2	3720	3520
Kind 7	39 5/7	3	3590	3440
Kind 8	40 2/7	3	3205	3050
Kind 9	38	5	2940	2660
Kind 10	39 3/7	6	3760	3610
Kind 11	38 6/7	2	3035	2820
MW	39	3	3273	3070
STABWN	1 3/8	1	384	399

**Tab. 3:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle:  
Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung; biografische Daten

	Gestationsalter [SSW]	Lebensalter [d]	Geburtsgewicht [g]	aktuelles Gewicht [g]
Kind 1	39 3/7	2	3250	3140
Kind 2	36	4	2880	2680
Kind 3	36	4	2580	2420
Kind 4	40	5	3560	2480
Kind 5	38 1/7	1	3690	3690
Kind 6	41	3	3370	3120
Kind 7	40	2	3620	3400
Kind 8	39 2/7	2	3665	3520
Kind 9	39 2/7	2	2820	2550
Kind 10	38 1/7	4	3610	3380
Kind 11	39 4/7	3	3050	2820
Kind 12	37 4/7	5	2790	2640
Kind 13	37 4/7	5	3145	2880
MW	38 3/5	3	3233	2978
STABWN	1 3/8	1	369	399

**Tab. 4:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle:  
Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung; biografische Daten

Wie der statistische Vergleich (**Tab. 5**) belegt, bestanden zwischen den Untersuchungsgruppen keine signifikanten Unterschiede.

P-Werte für die Unterschiede	Gestationsalter [SSW]	Lebensalter [d]	Geburtsgewicht [g]	Aktuelles Gewicht [g]
„ohne“ versus konv.IR	0,60	0,90	0,75	0,44
„ohne“ versus wIR-A	0,11	0,96	0,58	0,20
konv.IR versus wIR-A	0,21	0,94	0,81	0,60

**Tab. 5:** Vergleich der biografischen Daten; statistische Signifikanzniveaus

### 3.2 Klinische Untersuchungen

#### 3.2.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle

Bei den Messungen ohne zusätzliche Wärmequelle (Raumtemperatur 25 °C) zeigten sich die in **Tab. 6** zusammengestellten Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Körperoberflächentemperatur.

	Rumpf	Kopf	Arm	Bein	T <sub>o</sub>
Patient 1	-0,37	-0,10	-0,08	-0,27	-0,23
Patient 2	-0,44	-0,15	-0,63	-0,37	-0,40
Patient 3	-0,48	-0,10	-0,61	-0,42	-0,41
Patient 4	-0,56	-0,53	-0,68	-0,93	-0,69
Patient 5	-0,39	0,15	-0,32	-0,41	-0,27
Patient 6	-0,62	0,02	-0,33	-0,57	-0,42
Patient 7	-0,30	-0,07	-0,11	-0,43	-0,26
Patient 8	-0,57	-0,65	-0,34	-0,12	-0,40
Patient 9	-0,41	-0,45	-0,37	-0,03	-0,30
Patient 10	-0,51	-0,28	-0,38	-0,48	-0,43
<b>MW</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,38</b>
<b>STABWN</b>	<b>0,10</b>	<b>0,24</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>

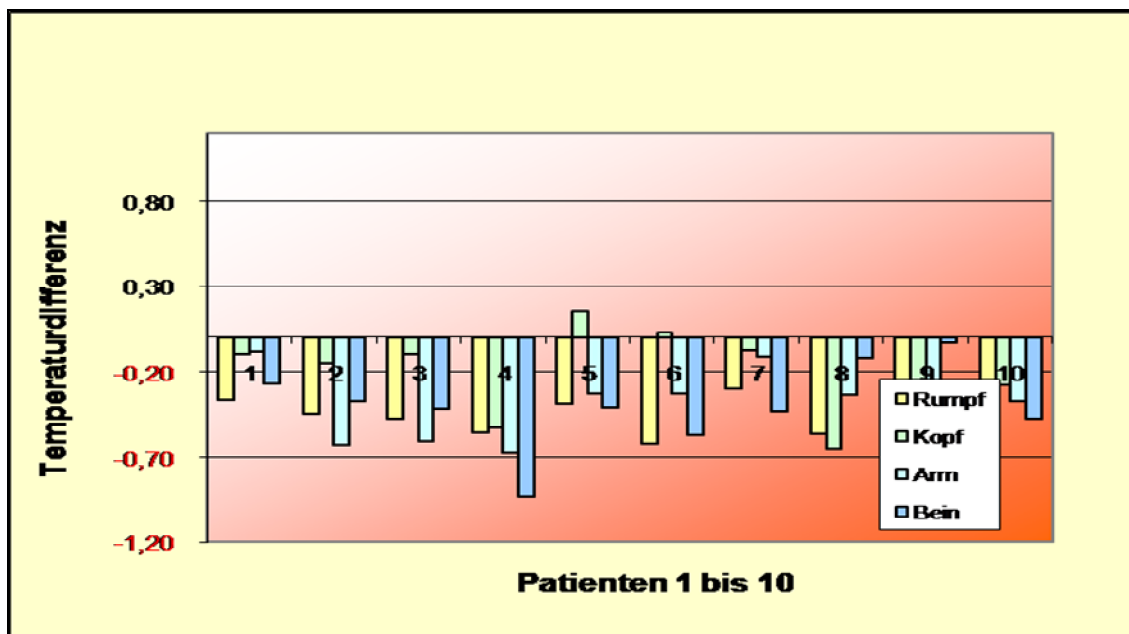
**Tab. 6:** Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle;  
Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur

Die aufgeführten Werte errechnen sich als Differenz aus den Werten der jeweiligen Temperaturen vor und nach der Vorsorgeuntersuchung U2. Der Wert von -0,37 bei Patient 1, Körperregion „Rumpf“, bedeutet also, dass die mittlere Rumpftemperatur dieses Neugeborenen während der U2 um 0,37 °C abnahm. Die mittleren Oberflächentemperaturen für den gesamten Körper der Patienten wurden gemäß der bereits unter 2.4.1 hergeleiteten Wichtungsformel berechnet:

$$T_O = (\text{Kopf} \times 0,2) + (\text{Rumpf} \times 0,3) + (\text{Arm} \times 0,2) + (\text{Bein} \times 0,3)$$

Die Differenzen der mittleren Oberflächentemperaturen („nachher“ ggü. „vorher“) finden sich in der letzten Spalte der Tabelle. Die Mittelwerte am Ende der Tabelle ergeben sich aus der Summe der einzelnen Patientenwerte, geteilt durch deren Anzahl (in diesem Fall 10, da in der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle 10 Neugeborene untersucht wurden). Somit fand sich in der ersten Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle eine Abnahme der mittleren Körperoberflächentemperatur um 0,38 °C.

Betrachtet man die vier Körperregionen getrennt voneinander, so war der Wärmeverlust in der Rumpfregion mit -0,46 °C am größten. Die beiden Extremitätenpartien verhielten sich mit einem Wärmeverlust von -0,38 °C an den Armen bzw. -0,40 °C an den Beinen etwa gleichartig. Demgegenüber war der Temperaturabfall im Kopfbereich mit -0,22 °C vergleichsweise am geringsten ausgeprägt. **Abb. 13** verdeutlicht diese Ergebnisse grafisch.



**Abb. 13:** Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle;  
Veränderungen der Regionaltemperaturen



### 3.2.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung

Die Messungen unter konventioneller Infrarot-Strahlung führten zu den in **Tab. 7** zusammengestellten Daten.

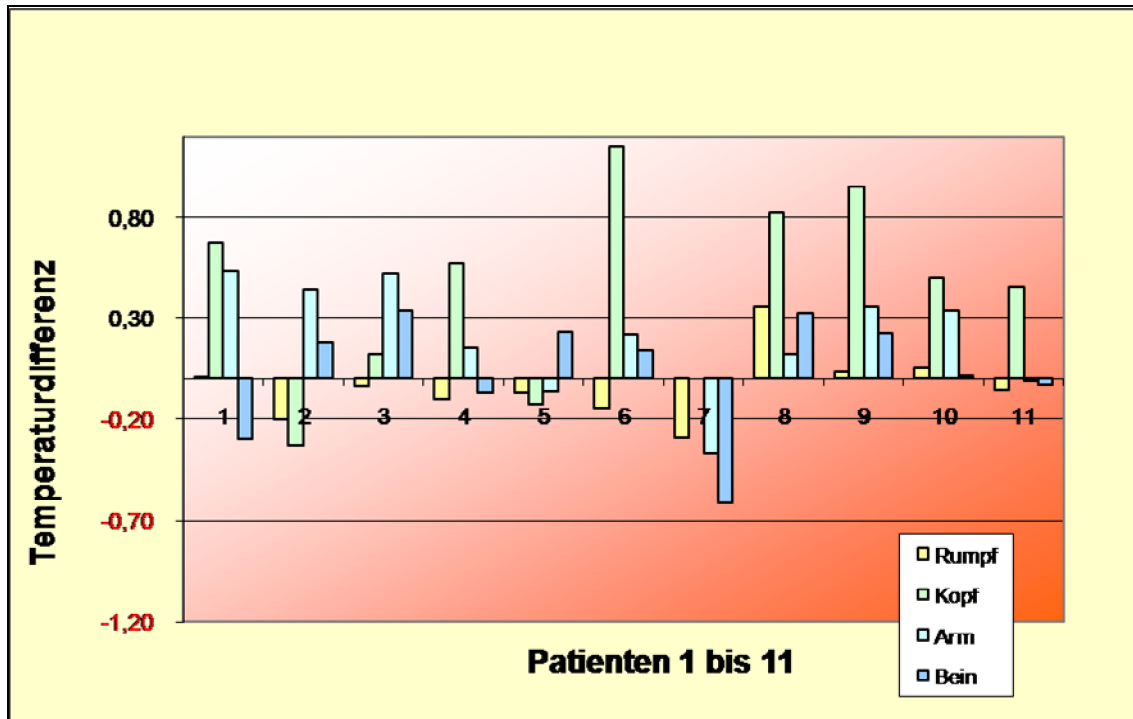
	Rumpf	Kopf	Arm	Bein	T <sub>O</sub>
Patient 1	0,01	0,68	0,54	-0,30	0,16
Patient 2	-0,20	-0,32	0,44	0,18	0,02
Patient 3	-0,03	0,13	0,53	0,34	0,22
Patient 4	-0,10	0,57	0,15	-0,07	0,10
Patient 5	-0,07	-0,13	-0,06	0,23	0,01
Patient 6	-0,14	1,15	0,22	0,14	0,27
Patient 7	-0,29	0,00	-0,37	-0,61	-0,34
Patient 8	0,36	0,82	0,12	0,33	0,39
Patient 9	0,03	0,95	0,36	0,22	0,34
Patient 10	0,06	0,50	0,34	0,02	0,19
Patient 11	-0,06	0,45	-0,01	-0,03	0,06
<b>MW</b>	-0,04	0,44	0,20	0,04	0,13
<b>STABWN</b>	0,16	0,45	0,26	0,27	0,19

**Tab. 7:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller Infrarot-Strahlung; Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur

Die mittlere Körperoberflächentemperatur T<sub>O</sub> stieg um 0,13 °C an.

Bei Betrachtung der einzelnen Körperregionen ergibt sich ein im Vergleich zu der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle uneinheitliches Bild: Am Rumpf zeigte sich eine geringfügige Abnahme, an den Beinen eine minimale Zunahme der jeweiligen Regionaltemperaturen um 0,04 °C, was allerdings

einer weitgehenden Temperaturkonstanz entspricht. An den Armen stieg die Regionaltemperatur um 0,20 °C, am Kopfbereich gar um 0,44 °C an. Eine grafische Darstellung dieser Verhältnisse findet sich in **Abb. 14**.



**Abb. 14:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle:  
Bestrahlung mit konventioneller Infrarotstrahlung; Veränderungen der Regionaltemperaturen

### 3.2.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung

In der Aufnahmeserie unter wassergefilterter IR-A-Strahlung kam es zu den in **Tab. 8** aufgeführten Temperaturveränderungen.

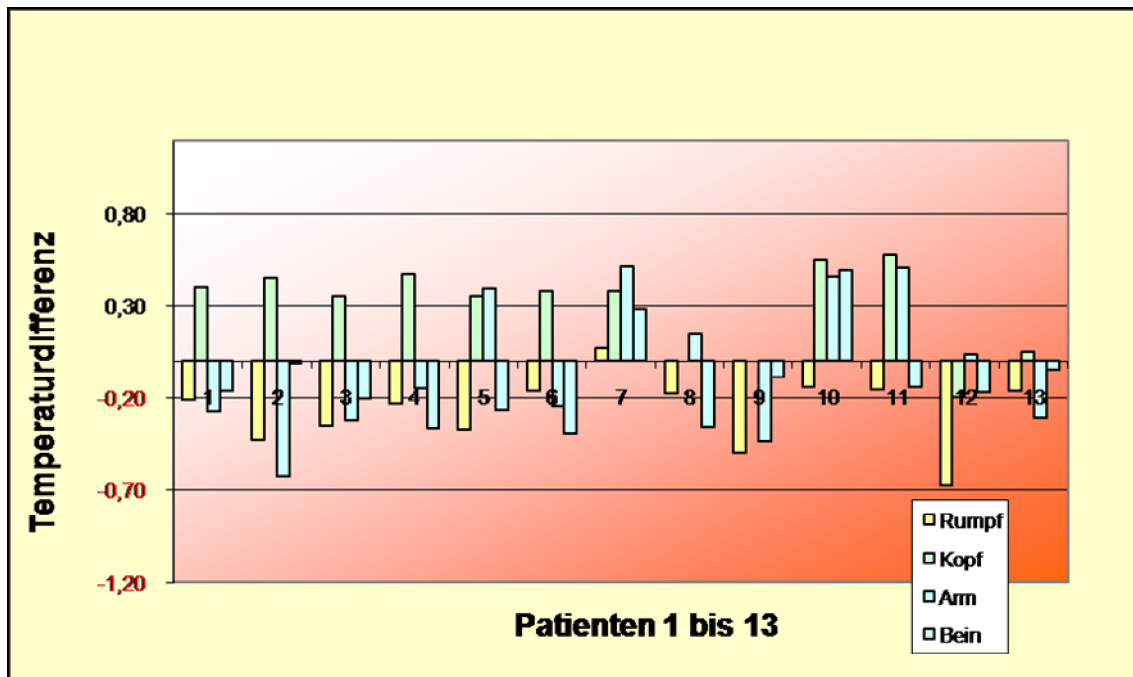
Die mittlere Oberflächentemperatur der Neugeborenen nahm im Durchschnitt um 0,06 °C ab und blieb damit praktisch konstant.

Die größte regionale Temperaturveränderung wurde mit einer Zunahme um 0,29 °C am Kopf gefunden. In den anderen Körperregionen nahmen die Hauttemperaturen mehr oder weniger ab ( $\Delta T_{\text{Arm}} = -0,02$  °C,  $\Delta T_{\text{Bein}} = -0,11$  °C,  $\Delta T_{\text{Rumpf}} = -0,27$  °C).

	Rumpf	Kopf	Arm	Bein	T <sub>o</sub>
Patient 1	-0,21	0,40	-0,28	-0,17	-0,09
Patient 2	-0,43	0,45	-0,63	-0,01	-0,17
Patient 3	-0,36	0,35	-0,33	-0,20	-0,16
Patient 4	-0,23	0,48	-0,15	-0,37	-0,12
Patient 5	-0,38	0,35	0,39	-0,27	-0,05
Patient 6	-0,17	0,37	-0,25	-0,40	-0,14
Patient 7	0,07	0,38	0,51	0,28	0,28
Patient 8	-0,18	0,00	0,15	-0,37	-0,13
Patient 9	-0,50	0,00	-0,44	-0,09	-0,26
Patient 10	-0,14	0,55	0,46	0,49	0,31
Patient 11	-0,16	0,58	0,51	-0,14	0,13
Patient 12	-0,68	-0,20	0,04	-0,17	-0,29
Patient 13	-0,17	0,05	-0,31	-0,05	-0,12
<b>MW</b>	-0,27	0,29	-0,02	-0,11	-0,06
<b>STABWN</b>	0,18	0,23	0,38	0,25	0,18

**Tab. 8:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter IR-A-Strahlung; Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur

Wie in **Abb. 15** zu sehen ist, kam es bei 12 von 13 untersuchten Neugeborenen im Rumpfbereich zu einer Abkühlung. Die im Mittel trotzdem ausgeglichene Wärmebilanz entstand durch das Gegengewicht der Erwärmung des Kopfbereiches.



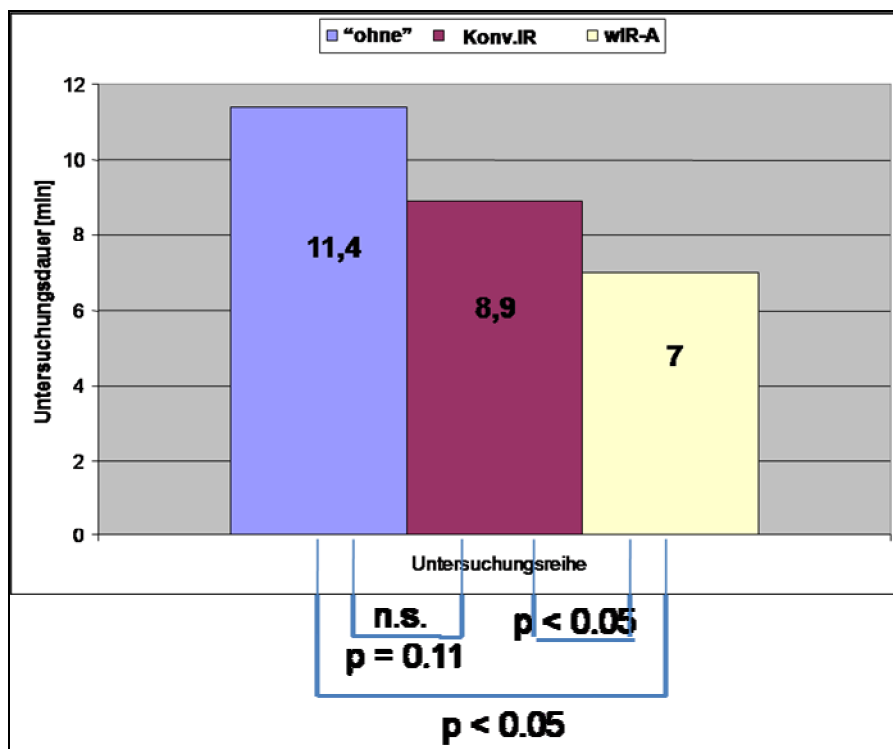
**Abb. 15:** Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung; Veränderungen der Regionaltemperaturen

### 3.3 Untersuchungsdauer

Um zu prüfen, inwieweit die Untersuchungs- und die damit verbundene Kälteexpositions- bzw. Bestrahlungsdauer einen Einfluss auf die Körperoberflächentemperatur hatte, wurde auch diese im Rahmen der Messungen mit erfasst. In **Tab. 9** ist die Dauer der Untersuchungen in den verschiedenen Aufnahmeserien wiedergegeben: Mit einem Durchschnitt von 11,4 min war die Kälteexpositionszeit in der Serie ohne zusätzliche Wärmequelle am längsten; in der Serie unter konventioneller IR-Strahlung betrug die mittlere Untersuchungsdauer dagegen nur 8,9 min, in der Serie unter wIR-A-Strahlung war sie mit 7 Minuten am kürzesten. Beim statistischen Datenvergleich (**Abb. 16**) zeigte sich, dass die Untersuchungsdauer in der Gruppe unter wIR-A-Strahlung signifikant kürzer ausgefallen war als in den beiden anderen Aufnahmeserien; die Untersuchungen unter konventioneller IR-Strahlung waren hingegen nicht signifikant schneller abgelaufen als in der Serie ohne zusätzliche Wärmequelle.

„ohne“	konv. IR	wIR-A
Untersuchungsdauer [min]		
8	10	9
7	9	5
9	8	6
11	10	6
10	11	5
13	8	6
11	9	9
10	12	9
13	8	5
22	9	8
	4	8
		9
		6
MW		
11,4	8,9	7
STABWN		
3,98	1,98	1,62

**Tab. 9:** Untersuchungsdauer in den verschiedenen Aufnahmeserien



**Abb. 16:** Statistischer Vergleich der Untersuchungsdauer in den verschiedenen Aufnahmeserien

## 4 Diskussion

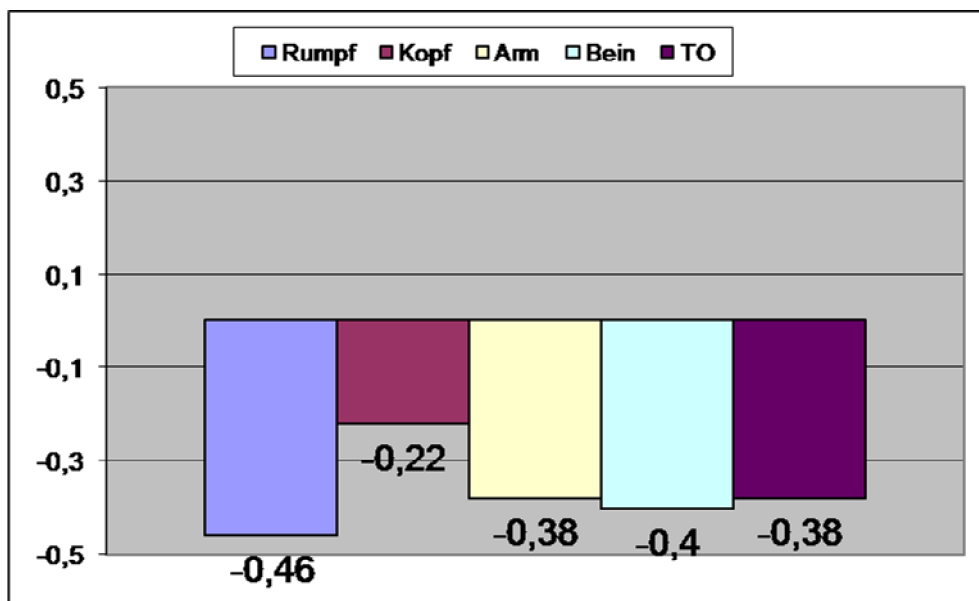
Wie bereits in der Einleitung dargestellt, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit verschiedenen thermischen Protektionsverfahren bei Neugeborenen, speziell mit den Auswirkungen unterschiedlicher Arten von Wärmestrahlung auf die Körperoberflächentemperatur. Zum Vergleich stehen im wesentlichen zwei Technologien: Bei Verwendung *konventioneller Infrarotstrahler*, die überwiegend langwellige, energiearme IR-B- und IR-C-Anteile emittieren, wird ein Großteil der Wärme bereits in den oberflächlichen Hautschichten absorbiert. Dadurch steht einerseits ein Großteil der emittierten Energie nicht oder nur verzögert für die beabsichtigte Erwärmung des Körperkerns zur Verfügung; andererseits kann eine kompensatorische Steigerung der Bestrahlungsintensität zur Gefährdung der Patienten durch Hautverbrennungen führen. Aufgrund dieser Probleme wurden *wassergefilterte Infrarotstrahler* entwickelt, die eine kurzwelligere, energiereichere Wärmestrahlung emittieren. Diese wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung (wIR-A) gewährleistet eine bessere Tiefenwirkung bei geringerem Verbrennungsrisiko. Die vorliegende Untersuchung wurde im neonatologischen Routinebetrieb durchgeführt, um - nach physikalischen Voruntersuchungen am Modell - die Tauglichkeit der neuartigen Bestrahlungstechnik im klinischen Alltag zu testen. Im Gegensatz zu früheren klinischen Anwendungsbeobachtungen wurde dabei nicht die Körperkern-, sondern die Körperoberflächentemperatur mittels einer thermografischen Methodik untersucht. Auf diese Weise sollte zugleich geprüft werden, inwieweit es durch ein geeignetes Auswertungsverfahren gelingt, von qualitativen „bunten Wärmebildern“ zu quantitativen Aussagen über Oberflächentemperaturveränderungen zu kommen.

Im Folgenden sollen die unter verschiedenen thermischen Protektionsbedingungen durchgeführten Aufnahmeserien zunächst einzeln analysiert werden, um dann zu einer vergleichenden Bewertung unter physiologisch-thermoregulatorischen, klinisch-neonatologischen und methodisch-thermografischen Gesichtspunkten zu gelangen.

#### 4.1 Einzelanalyse der Aufnahmeserien

##### 4.1.1 Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle

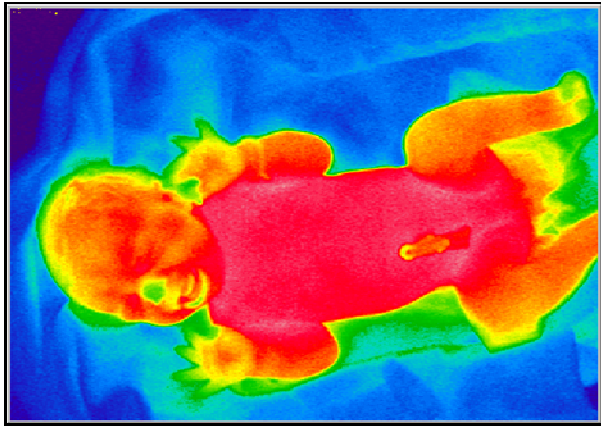
Bei den zehn Neugeborenen, die bei einer Raumtemperatur von 25 °C, jedoch ohne zusätzliche Wärmequelle in Form eines Infrarotstrahlers untersucht wurden (bisheriges Routineverfahren im Kinderzimmer der Universitätsfrauenklinik), ergibt sich das in **Abb. 17** dargestellte Bild.



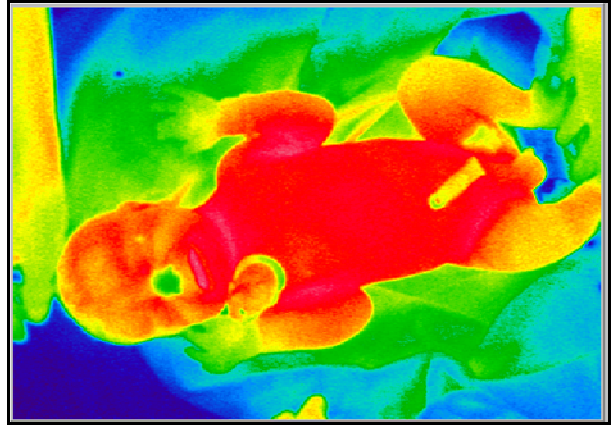
**Abb. 17:** Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur in der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmestrahlung

Die mittlere Oberflächentemperatur sinkt um 0,38 °C. Die Regionaltemperaturen fallen im Bereich des Rumpfes um 0,46 °C, im Bereich der Arme um 0,38 °C und im Bereich der Beine um 0,40 °C ab. Dieser einheitliche Abfall aller Regionaltemperaturen reflektiert die periphere Vasokonstriktion, die in den thermografischen Bildern schon qualitativ gut erkennbar ist (**Abb. 18a/b**). Sie ist Ausdruck der Kältegegenregulation, die durch Umverteilung des Blutes eine Konstanthaltung der Körperkerntemperatur zu erreichen versucht, welche wiederum in der vergleichsweise geringen Abkühlung des Kopfes um 0,22 °C erkennbar wird.

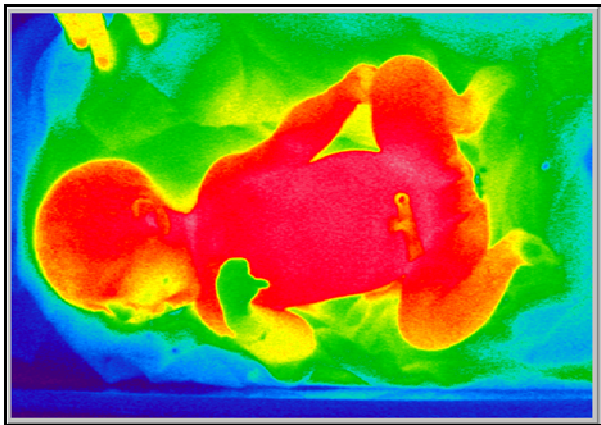




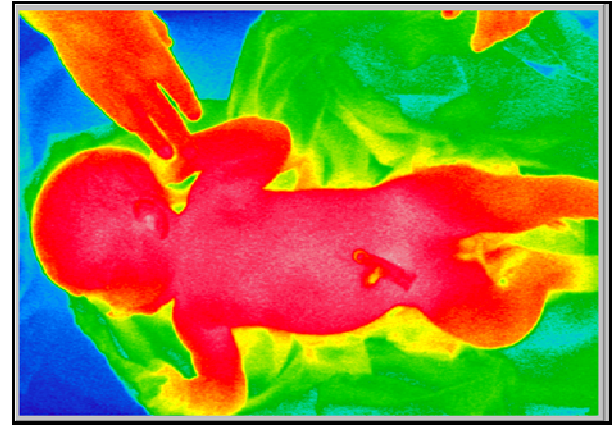
**Abb. 18a:** ohne zusätzliche Wärmequelle:  
Vorher-Bild



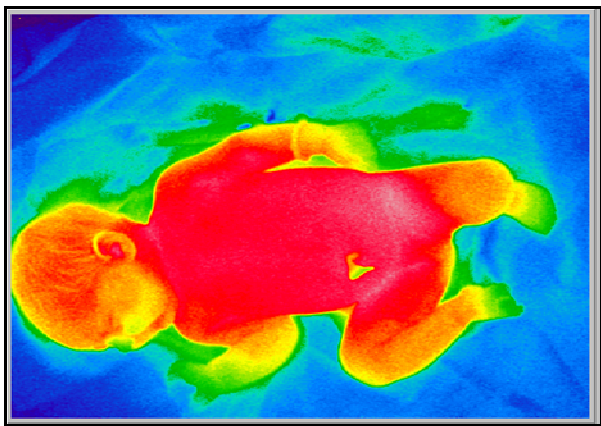
**Abb. 18b:** ohne zusätzliche Wärmequelle:  
Nachher-Bild



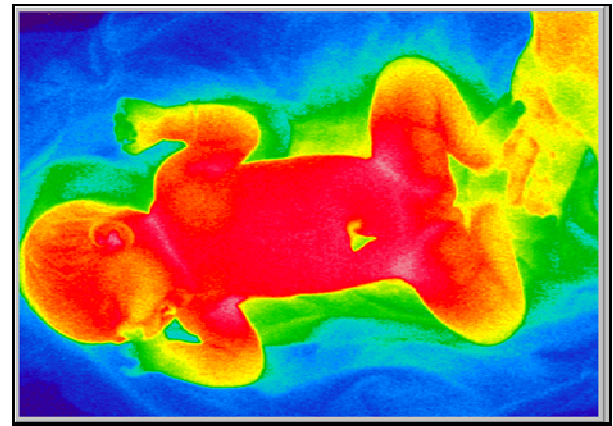
**Abb. 18c:** mit konventioneller IR-Strahlung:  
Vorher-Bild



**Abb. 18d:** mit konventioneller IR-Strahlung:  
Nachher-Bild



**Abb. 18e:** mit wIR-A-Strahlung:  
Vorher-Bild



**Abb. 18f:** mit wIR-A-Strahlung:  
Nachher-Bild

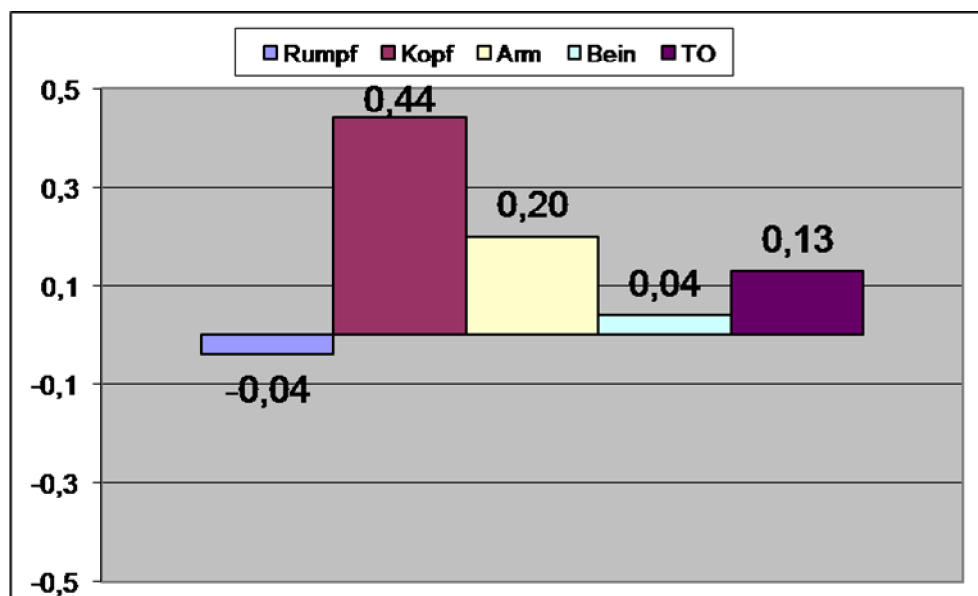
*Abb. 18: Vergleich der „vorher“- und „nachher“-Bilder ohne zusätzliche Wärmequelle (a/b),  
mit konventioneller IR-Strahlung (c/d) und mit wassergefilterter IR-A- Strahlung (e/f)*



Bei diesem eindeutigen Ergebnis ist zu bedenken, dass in der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle auch die Untersuchungsdauer (mit  $11,4 \pm 4,0$  min) unbeabsichtigterweise am längsten ausgefallen war, was zu dem relativ ausgeprägten Abkühlungseffekt beigetragen haben kann.

#### 4.1.2 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit konventioneller IR-Strahlung

Die Messergebnisse bei den elf Neugeborenen, die unter konventioneller Infrarot-Strahlung untersucht wurden, lassen das in **Abb. 19** dargestellte Profil erkennen.



**Abb. 19:** Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur in der Aufnahmeserie mit konventioneller Infrarot-Strahlung

Im deutlichen Kontrast zu der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle kommt es unter konventioneller Infrarot-Strahlung zu einer durchschnittlichen Erwärmung der Körperoberfläche um  $0,13 \text{ °C}$ .

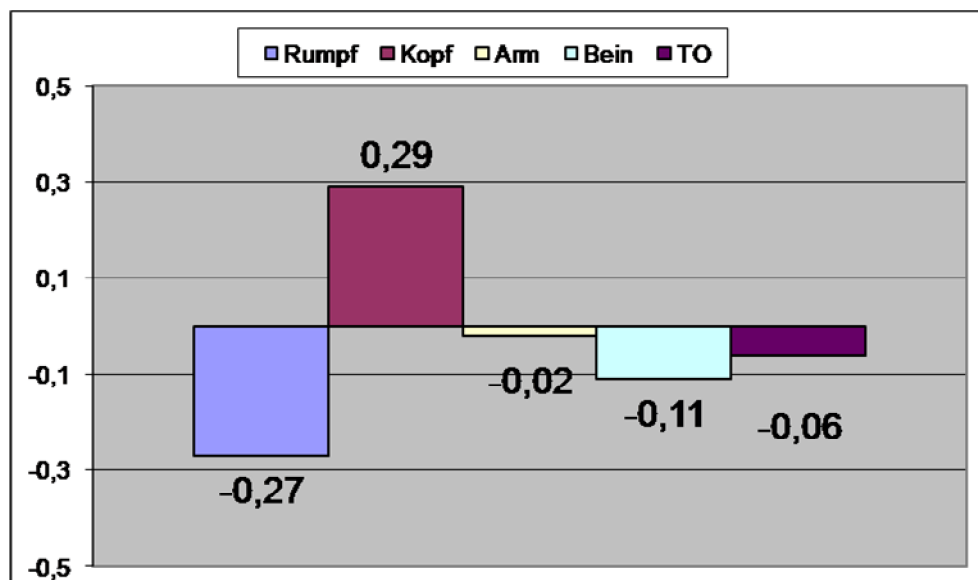
Während die Regionaltemperaturen am Rumpf wie an den Beinen mit einem  $\Delta T$  von  $-0,04 \text{ °C}$  bzw.  $0,04 \text{ °C}$  praktisch konstant bleiben, ist an den Armen ( $\Delta T = 0,20 \text{ °C}$ ) und vor allem am Kopf ( $\Delta T = 0,44 \text{ °C}$ ) ein deutlicher Temperaturanstieg zu beobachten. Die Erwärmung des Kopfes kann einerseits auf der äußeren Wärmeeinstrahlung beruhen (und damit die „Oberflächenwirkung“ der konventionellen Infrarot-Strahlung unterstreichen),

andererseits aber auch eine innere Wärmeumverteilung (mit Abgabe überschüssiger Wärme über den beim Neugeborenen relativ großen Kopf) anzeigen. Die globale Erwärmung der Körperoberfläche, die unter konventioneller Infrarot-Strahlung zustandekommt, ist den thermografischen Bildern auch qualitativ zu entnehmen (**Abb. 18c/d**).

Hierbei ist wiederum zu bedenken, dass die Untersuchungsdauer in der Aufnahmeserie mit konventioneller Infrarot-Strahlung (mit  $8,4 \pm 2,0$  min) kürzer war als in der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle. Auch wenn dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ausfiel, so kann er doch - sei es durch die kürzere Kälteexposition, sei es auch durch die kürzere Strahlungseinwirkung - das Messergebnis mitbeeinflusst haben.

#### 4.1.3 Aufnahmeserie mit zusätzlicher Wärmequelle: Bestrahlung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung

An den 13 Neugeborenen, bei denen die Vorsorgeuntersuchung unter wassergefilterter IR-A-Strahlung vorgenommen wurde, lassen sich die in **Abb. 20** aufgezeichneten Veränderungen der Hauttemperatur erkennen.



**Abb. 20:** Veränderungen der Regionaltemperaturen und der mittleren Oberflächentemperatur in der Aufnahmeserie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung

Es handelt sich um die einzige Untersuchungsgruppe, in der die mittlere Körperoberflächentemperatur mit einem  $\Delta T_O$  von  $-0,06$  °C praktisch konstant bleibt, was auch den thermografischen Bildern selbst an einem bemerkenswert

geringen Unterschied zwischen dem „vorher“- und dem „nachher“-Bild (außer im Kopfbereich) anzusehen ist (**Abb. 18e/f**).

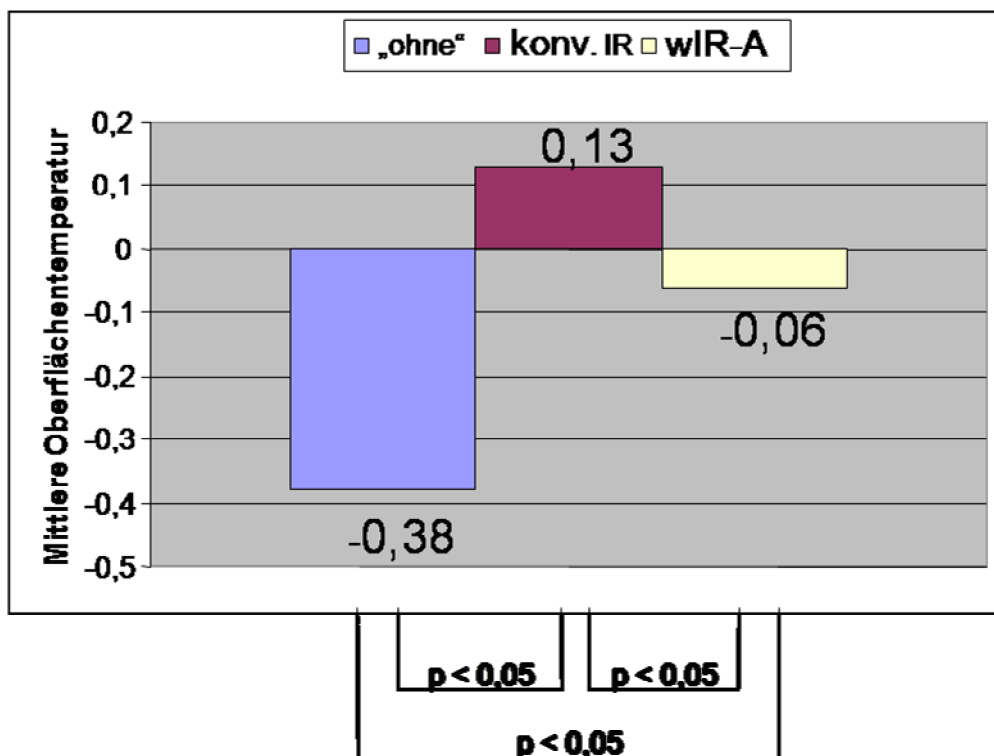
Dieser ausgeglichenen Gesamtbilanz liegt eine mehr oder weniger ausgeprägte Abnahme der Regionaltemperaturen von Rumpf ( $\Delta T = -0,27\text{ °C}$ ), Beinen ( $\Delta T = -0,11\text{ °C}$ ) und Armen ( $\Delta T = -0,02\text{ °C}$ ) zugrunde, die durch eine Zunahme der Kopftemperatur ( $\Delta T = 0,29\text{ °C}$ ) aufgewogen wird. Offenbar wird also auch hier überschüssige Wärme über den Kopf abgestrahlt, nachdem mit der wassergefilterten IR-A-Strahlung die gleiche Strahlungsleistungsdichte appliziert wurde wie mit der konventionellen Infrarot-Strahlung. Indessen kommt es dabei nicht zu einer Überwärmung der Gesamtkörperoberfläche, was exakt den anhand der physikalischen Modellversuche vorhergesagten Eigenschaften der wassergefilterten im Vergleich zu konventioneller Infrarot-Strahlung (bessere Tiefenwirkung bei geringerer Oberflächenerwärmung) entspricht.

Wie in den vorgenannten Gruppen ist auch hier der Effekt der Untersuchungsdauer zu bedenken, die in der wIR-A-Gruppe (mit  $7,0 \pm 1,6\text{ min}$ ) unbeabsichtigtweise signifikant kürzer war als in den beiden anderen Aufnahmeserien, wodurch nicht nur der geringere Abkühlungseffekt als in der Untersuchungsreihe ohne zusätzliche Wärmequelle, sondern auch der geringere Überwärmungseffekt im Vergleich zur konventionellen IR-Strahlung mitbedingt sein könnte.

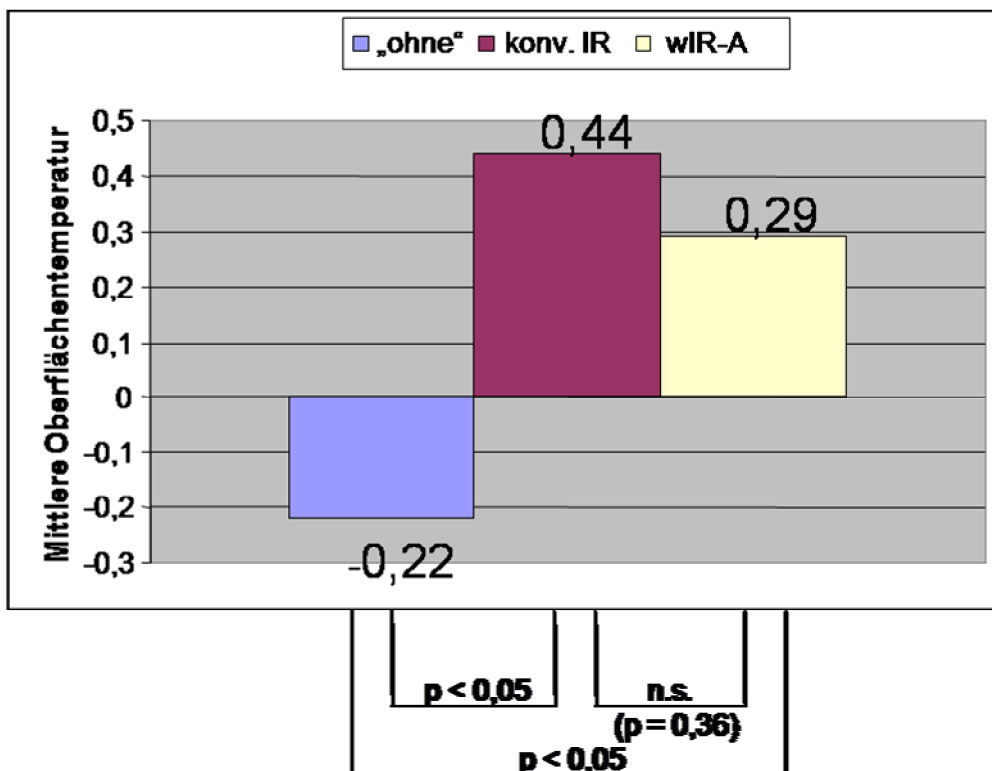
#### 4.1.4 Direkte Gegenüberstellung der verschiedenen Wärmestrahler

In der direkten Gegenüberstellung der verschiedenen Wärmestrahler, wie sie in **Abb. 21** anhand der mittleren Oberflächentemperaturen vorgenommen wird, ist somit zweierlei erkennbar: Zum einen zeigt sich, dass durch jede zusätzliche Wärmequelle eine statistisch signifikante Verminderung des Wärmeverlustes bzw. der kältegegenregulatorischen Vasokonstriktion erreicht wird, die bei entkleideten Neugeborenen auch bei einer Raumtemperatur von  $25\text{ °C}$  zu beobachten ist. Zum anderen wird deutlich, dass zwischen den beiden Strahlertypen trotz einer nominell gleichartigen Strahlungsleistungsdichte von ca.  $10\text{ mW/cm}^2$  ein statistisch signifikanter Unterschied im Erwärmungseffekt besteht, der unter konventioneller Infrarot-Strahlung mit einem stärkeren Anstieg der Körperoberflächentemperatur einhergeht als unter wassergefilterter

IR-A-Strahlung. Zieht man zum Vergleich, wie in **Abb. 22** geschehen, die Regionaltemperatur des Kopfes heran, der bei Neugeborenen am ehesten die Verhältnisse im Körperkern widerspiegelt, so zeigt sich auch hier eine statistisch signifikante Umkehrung der Wärmebilanz unter zusätzlicher thermischer Protektion, wobei die tendenziell stärkere Wärmeabstrahlung nach konventioneller Infrarot-Bestrahlung vermutlich auf der Kombination aus interner Wärmeumverteilung und externer Oberflächenerwärmung beruht.



**Abb. 21:** Direkte Gegenüberstellung der verschiedenen thermischen Protektionsverfahren: mittlere Oberflächentemperaturen

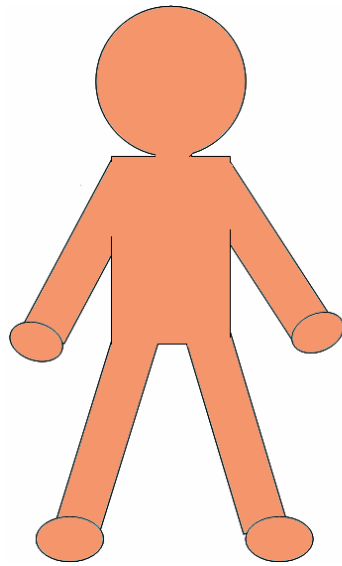


**Abb. 22:** Direkte Gegenüberstellung der verschiedenen thermischen Protektionsverfahren: Regionaltemperaturen im Kopfbereich

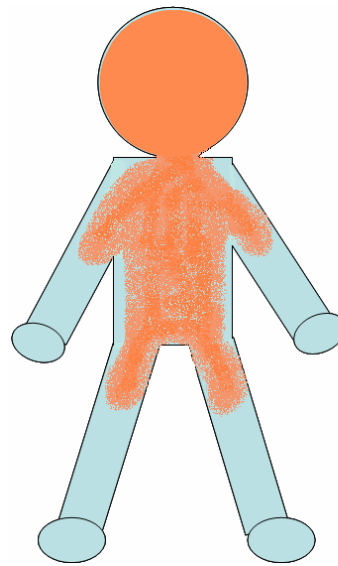
## 4.2 Vergleichende Bewertung der Messergebnisse

### 4.2.1 ...unter physiologisch- thermoregulatorischen Gesichtspunkten

Bei der Interpretation der thermografischen Aufnahmeserien ist zu bedenken, dass Neugeborene wie Erwachsene bei Kälteexposition zu einer peripheren Vasokonstriktion in der Lage sind, die aber am Kopf - wegen dessen relativer Größe und vergleichsweise spärlichen „Fettpolsterung“ - zu einem geringeren Isolationseffekt führt als an den Extremitäten (**Abb. 23**). So kommt es, dass die Wärmeabstrahlung vom Kopf nicht nur - wie an allen übrigen Körperregionen - die Hautoberflächentemperatur als solche widerspiegelt, sondern zusätzlich als repräsentativ für die Wärmebilanz des Körperkerns betrachtet werden kann.



**Abb. 23 a)**



**Abb. 23 b)**

**Abb. 23:** Schematische Darstellung der Hauttemperaturverteilung beim Neugeborenen bei Wärmeexposition/Vasodilatation (a) und bei Kälteexposition/Vasokonstriktion (b); man beachte den geringen isolierenden Effekt des Kopfes!

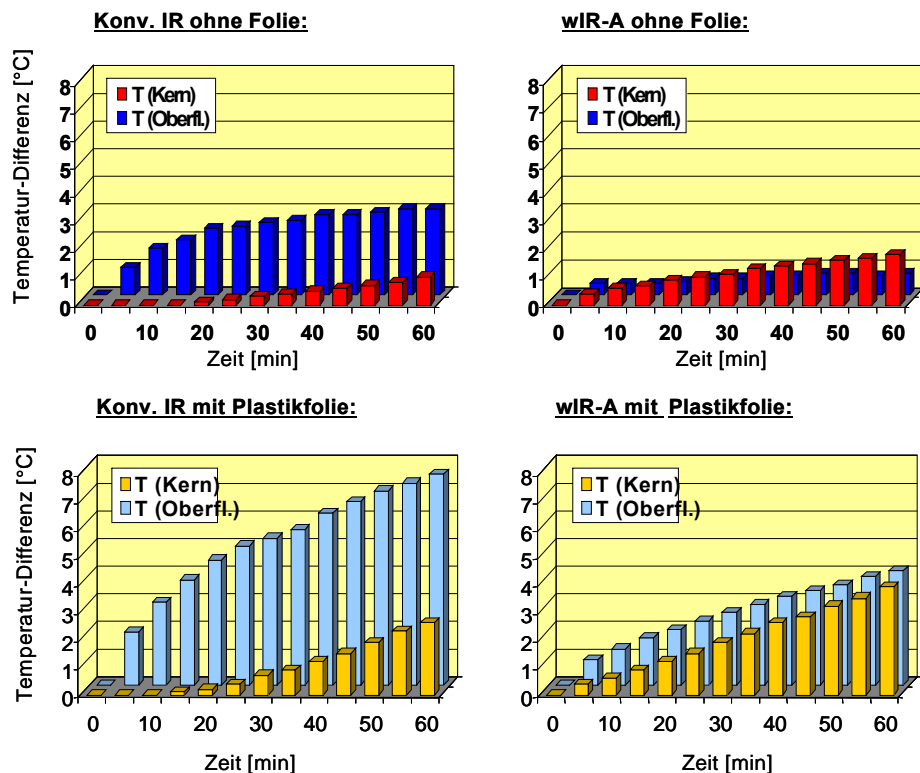
Diese thermoregulatorische Reaktion erklärt, warum es in der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle, in der die periphere Vasokonstriktion an Armen und Beinen deutlich erkennbar wird, zu einem geringeren Abfall der Hauttemperatur im Kopfbereich kommt als an den übrigen Körperregionen. Dass bei Verwendung eines zusätzlichen Wärmestrahlers - gleich welcher Art - ein Anstieg der Kopftemperatur zu beobachten ist, macht umgekehrt deutlich, dass dadurch die ohne thermische Protektion negative in eine positive Wärmebilanz (mit Stabilisierung der Kerntemperatur bzw. Wärmeabstrahlung über den Kopf) umgewandelt wird. Die geringere Erwärmung der Kopftemperatur unter dem Hydrosun- als unter dem Weyer-Strahler lässt sich mit der geringeren „Oberflächenwirkung“ der wassergefilterten im Vergleich zur konventionellen IR-Strahlung erklären und bestätigt somit die in den physikalischen Vorversuchen gefundenen differenten Effekte der unterschiedlichen Strahlenarten auch in einer klinischen Routineanwendung.

#### 4.2.2 ...unter klinisch-neonatologischen Gesichtspunkten

Zur Vermeidung der gefürchteten neonatalen Hypothermie (vgl. Einleitung) ist die Verwendung von Wärmestrahlern auch in den internationalen Leitlinien zur Reanimation von Neugeborenen vorgesehen. Darüber hinaus wird in der aktuellen Version dieser Leitlinien (American Heart Association 2005) die zusätzliche Verwendung von Plastikfolien empfohlen, die, wenn sie über die zu versorgenden Neugeborenen gelegt werden, den thermoprotektiven Effekt der Wärmestrahlung noch zusätzlich verstärken. Ausschlaggebend hierfür die Erfahrung, dass speziell extrem kleine Frühgeborene aufgrund ihres besonders ungünstigen Oberfläche-Volumen-Verhältnisses und ihrer Neigung zu evaporativen Wärmeverlusten auch unter konventioneller thermischer Protektion noch immer ein beträchtliches Auskühlungsrisiko zeigen (Costeloe et al. 2000). Die Empfehlung zur Verwendung von Plastikfolien beruht auf Untersuchungen, denen zufolge mit dieser Methode, durch die die Verdunstung von der Körperoberfläche unterbunden wird, die Wärmeverluste erheblich eingedämmt werden konnten (Vohra et al. 1999). Als zusätzlicher Vorteil von Plastikfolien ist zu nennen, dass sie – im Gegensatz zu Frotteetüchern o.dgl. – die visuelle Beobachtung des Kindes, etwa auf Veränderungen des Hautkolorits, weiterhin erlauben (Meyer 2003).

In diesem Zusammenhang ist an frühere physikalische Modellversuche (Aumann 2001; Benninghoff et al. 2001; Singer et al. 2003) zu erinnern, in denen belegt werden konnte, dass ein evaporationsfördernder Effekt speziell zu den Eigenschaften der konventionellen IR-Strahlung zählt, die, indem sie primär zu einer Erwärmung der Oberfläche führt, auch die Verdunstung zusätzlich begünstigt. Insofern wird also gerade bei Verwendung konventioneller Wärmestrahler ein Teil der eingestrahlten Energie durch die ausgelöste Evaporation direkt wieder „vernichtet“. Dagegen führt die wassergefilterte IR-A-Strahlung, die sich durch eine bessere Tiefenwirkung bei geringerer Oberflächenerwärmung auszeichnet, zu einer geringeren Verdunstung von der Körperoberfläche und erscheint auch deshalb zur thermischen Protektion von Neu- und Frühgeborenen besonders geeignet.

Wenn nun beide Strahlenarten mit Plastikfolien kombiniert werden, so kommt es, wie in diesen Untersuchungen (Benninghoff et al. 2001; Singer et al. 2003) gezeigt werden konnte, zu unterschiedlichen Interaktionseffekten (**Abb. 24**).



**Abb. 24:** Effekte einer Plastikfolie auf den Anstieg der Oberflächen- und Kerntemperatur bei Verwendung von konventioneller oder wassergefilterter IR-Strahlung (physikalische Modellversuche am Agar-Phantom; aus: Singer et al. 2003)

So wird bei Verwendung einer Plastikfolie mit entsprechender Unterbindung der Evaporation unter konventioneller IR-Strahlung, bei der der Wärmeeintrag hauptsächlich über die Körperoberfläche erfolgt, der ohnehin ausgeprägte Anstieg der Oberflächentemperatur noch zusätzlich „potenziert“. Dagegen wird unter wassergefilterter IR-A-Strahlung, die sich durch eine homogenere Durchwärmung des Körpers auszeichnet, zwar auch der Erwärmungseffekt gesteigert, aber keine so ausgeprägte Steigerung der Körperoberflächentemperatur bewirkt. Diese Ergebnisse zeigen, dass die wIR-A-Strahlung nicht nur per se einen geringeren verdunstungsfördernden Effekt aufweist, sondern auch bei Verwendung einer Plastikfolie zur Minderung evaporativer Wärmeverluste eine geringere Überhitzung der Körperoberfläche hervorruft.



Inwieweit sich eine solche Überwärmung der Körperoberfläche mit Verlust des peripher-zentralen Temperaturgradienten – abgesehen von dem potentiellen Verbrennungsrisiko – nachteilig auswirken würde, ist ungeklärt (Gunn & Gunn 1996). Immerhin konnte bereits in verschiedenen Studien (Newton & Watkinson 2003; Vohra et al. 2004) gezeigt werden, dass bei der leitlinienkonformen thermischen Protektion von VLBW mit konventioneller Wärmestrahlung und Plastikfolien bis zu 7 % der Patienten eine um 1 °C erhöhte Rektaltemperatur aufwiesen. Auch wenn eine solche Überwärmung allgemein weniger gefürchtet ist als eine neonatale Hypothermie, muss man doch annehmen, dass sie gerade nach perinatalen Sauerstoffmangelzuständen, bei denen sich eine moderate Temperatursenkung als protektiv erwiesen hat und neuerdings sogar therapeutisch eingesetzt wird (Gunn & Bennet 2001; Higgins 2005; Lang et al. 2007), zu einer Verschlechterung hypoxischer Gewebsschäden beitragen könnte. Demzufolge sind alle Maßnahmen als kritisch einzustufen, die zu einer unbeabsichtigten Überwärmung des Körpers bei Neu- und Frühgeborenen führen können.

#### 4.2.3 ...unter methodisch-thermografischen Gesichtspunkten

Neben den Einsichten in die Thermoregulation von Neugeborenen und den Konsequenzen für ihre thermische Protektion zeigt die hier vorgelegte Untersuchung auch, dass die Infrarot-Thermografie eine zur Untersuchung des Wärmehaushaltes (und der peripheren Perfusion) bei Neugeborenen sehr geeignete - weil berührungslose - Methode darstellt. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, in denen die thermoregulatorischen Verhältnisse mittels thermografisch gewonnener „bunter Bilder“ lediglich qualitativ visualisiert worden waren (Christidis et al. 2003), wurde hier zusätzlich der Versuch unternommen, durch ein digitalisiertes Auswertungs- und rechnerisches Wichtungsverfahren zu einer quantitativen Aussage zu gelangen. Der Umstand, dass sich die aufgrund theoretischer, am Modell („in vitro“) erhobener Vorbefunde zu erwartenden differenten Erwärmungseffekte der unterschiedlichen Strahlenarten mit dieser Methode tatsächlich auch im

klinischen Routinebetrieb an Neugeborenen („in vivo“) haben nachvollziehen lassen, belegt indirekt, dass dieses Verfahren offenbar dazu tauglich ist, differenzierte physikalisch-physiologische Prozesse mit hinreichender Genauigkeit zu erfassen. Damit zeigt die vorliegende Untersuchung auch, dass die Infrarot-Thermografie aufgrund ihrer technischen Fortschritte inzwischen einen Entwicklungsstand erreicht hat, der ihre bisher eher marginalen Einsatzmöglichkeiten in der Medizin erweitern könnte.

## 5 Zusammenfassung

Wegen der nachteiligen Folgen einer neonatalen Hypothermie kommt dem Schutz vor Wärmeverlusten bei Neu- und Frühgeborenen ein hoher Stellenwert zu. Hierzu werden u.a. zwei Arten von Wärmestrahlern verwandt, die sich, wie in früheren Modellversuchen gezeigt werden konnte, in ihren physikalischen Eigenschaften deutlich voneinander unterscheiden: Während herkömmliche Strahler, die hauptsächlich langwellige Infrarot-B/C-Strahlung emittieren, zu einer überwiegenden Oberflächenerwärmung führen, zeichnen sich die neuartigen wassergefilterten Infrarot A (wIR-A) - Strahler infolge ihres kurzwelligeren Spektrums durch eine bessere Tiefenwirkung aus. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die beiden Strahlenarten im klinisch-neonatologischen Routinebetrieb zu vergleichen, wobei - im Unterschied zu früheren Anwendungsbeobachtungen - nicht die Körperkern-, sondern vielmehr die Körperoberflächentemperatur der Neugeborenen untersucht wurde. Hierzu kam die berührungslose Methode der Infrarot-Thermografie zum Einsatz, von der gleichzeitig geprüft wurde, ob sie - über die Gewinnung qualitativer „bunter Bilder“ hinaus - durch ein geeignetes Auswertungsverfahren auch zu quantitativen Aussagen führen könnte.

Hierzu wurden von gesunden, reifen Neugeborenen zu Beginn und am Ende der Vorsorgeuntersuchung U2 mit einer Wärmebildkamera (Nikon LAIRD S-270) je zwei standardisierte thermografische Bilder aufgenommen und die Hauttemperatur-Effekte eines konventionellen (Weyer Ceramotherm 2000) und eines wassergefilterten IR-Strahlers (Hydrosun 500F) bei gleicher Strahlungsleistungsdichte ( $10 \text{ mW/cm}^2$ ) verglichen; als Referenz dienten Untersuchungen, die bei  $25^\circ\text{C}$  Raumtemperatur ohne zusätzliche Wärmequelle (bisheriges Routineverfahren in dem betroffenen Kinderzimmer) vorgenommen wurden. Zur Bestimmung der mittleren Oberflächentemperatur ( $T_O$ ) vor und nach der körperlichen Untersuchung wurden die thermografischen Bilder mittels geeigneter Software (PicWin IRIS, ebs, München) mit einem 27-Punkte-Raster versehen, die lokalen Temperaturen abgelesen, regionale Mittelwerte gebildet und diese mit dem Anteil der jeweiligen Regionen an der Gesamtkörperoberfläche gewichtet:

$$T_O = (\text{Kopf} \times 0,2) + (\text{Rumpf} \times 0,3) + (\text{Arm} \times 0,2) + (\text{Bein} \times 0,3).$$

In der Referenzgruppe (ohne zusätzliche Wärmequelle) war eine relevante Abnahme der  $T_O$  um  $0,38 \pm 0,13$  °C ( $n=10$ ) zu verzeichnen. Dabei fiel die mittlere Kopftemperatur mit einem  $\Delta T$  von  $-0,22 \pm 0,24$  °C deutlich weniger ab als die übrigen Regionaltemperaturen, was als Ausdruck der Wärmeumverteilung von den Extremitäten zum Kopf gedeutet wurde. Durch den Einsatz von Wärmestrahlern konnte dieser Kältegegenregulationseffekt signifikant vermindert werden, wobei es unter konventioneller Strahlung sogar zu einem Anstieg der  $T_O$  um  $0,13 \pm 0,19$  °C ( $n=11$ ) kam, der unter wassergefilterter Strahlung mit einem  $\Delta T_O$  von lediglich  $-0,06 \pm 0,18$  °C ( $n=13$ ) ausblieb. In beiden Fällen stieg die Kopftemperatur an, wobei dieser Anstieg unter konventioneller IR-Strahlung (mit  $0,44 \pm 0,45$  °C) tendenziell stärker ausgeprägt war als unter wassergefilterter IR-A-Strahlung (mit  $0,29 \pm 0,23$  °C). Zu beachten ist, dass die Untersuchungsdauer in der Aufnahmeserie mit wassergefilterter IR-A-Strahlung unbeabsichtigterweise mit  $7,0 \pm 1,6$  min signifikant länger ausfiel als in beiden anderen Untersuchungsgruppen (ohne zusätzliche Wärmequelle  $11,4 \pm 4,0$  min, mit konventioneller IR-Strahlung  $8,9 \pm 2,0$  min), was zu den Unterschieden im thermischen Verhalten beigetragen haben dürfte.

Grundsätzlich stehen die Messungen an Neugeborenen jedoch im Einklang mit den physikalischen Modellversuchen (geringere Oberflächenerwärmung unter wIR-A- im Vergleich zu konventioneller IR-Strahlung) und bestätigen die Tauglichkeit des neuartigen Strahlertyps im klinisch-neonatologischen Alltag. Sie belegen überdies, dass sich durch Verwendung eines Punkterasters zur Ermittlung der mittleren Oberflächentemperatur aus der Thermographie nicht nur qualitative, sondern auch quantitative thermophysiologische Aussagen ableiten lassen.

## 6 Literaturverzeichnis

American Heart Association (2005): Neonatal resuscitation guidelines (2005 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care, part 13). Circulation 112, IV-188 – IV-195

Aumann C: Konventionelle und wassergefilterte Infrarotstrahlung: Vergleichende Untersuchungen zur Eignung für die Wärmetherapie bei Frühgeborenen. Med Diss, Göttingen 2001

Asakura H (2004): Fetal and neonatal thermoregulation. J Nippon Med Sch 71, 360-370

Benninghoff U, Maurer E, Singer D (2001): Wie kann Wärmestrahlung für Frühgeborene effektiver und sicherer gemacht werden? Monatsschr Kinderheilkd 149 Suppl 2, S200-S201 (PP210)

Buchmüller K (1961): Über die ultrarote Emission, Reflexion und Durchlässigkeit der lebenden menschlichen Haut im Spektralbereich  $\lambda = 3 - 15 \mu\text{m}$ . Pflügers Arch 272, 360-371

Christidis I, Zotter H, Rosegger H, Engele H, Kurz R, Kerbl R (2003): Infrared Thermography in Newborns: The First Hour after Birth. Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 43, 31-35

Cobarg CC: Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung; in: Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten, 2. Auflage; hrsg. v. Vaupel P, Krüger W; Hippokrates, Stuttgart 1995, 19-28

Costeloe K, Hennessy E, Gibson AT, Marlow N, Wilkinson AR (2000): The EPICure study: outcomes to discharge from hospital for infants born at the threshold of viability. Pediatrics 106, 659-671

Cramer K, Wiebe N, Hartling L, Crumley E, Vohra S (2005): Heat loss prevention: a systematic review of occlusive skin wrap for premature neonates. J Perinatol 25, 763-769

Gerthsen C, Meschede D: Gerthsen Physik, 23. Auflage; Springer, Berlin 2006

Gunn T, Outerbridge EW (1978): Effectiveness of neonatal transport. Can Med Assoc J 118, 646-649

Gunn TR, Gluckman PD (1995): Perinatal thermogenesis. Early Hum Dev 42, 169-183

Gunn AJ, Gunn TR (1996): Effect of radiant heat on head temperature gradient in term infants. Arch Dis Child 74, F200-F203

Gunn AJ, Bennet L (2001): Is temperature important in delivery room resuscitation? Semin Neonatol 6, 241-249

Hellige G, Becker G, Hahn G: Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung; in: Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten, 2. Auflage; hrsg. v. Vaupel P, Krüger W; Hippokrates, Stuttgart 1995, 63-79

Henschke U (1939): Biologische und physikalische Grundlagen der Rot- und Ultrarotstrahlentherapie. Strahlentherapie 66, 646-662

Higgins RD (2005): Hypoxic ischemic encephalopathy and hypothermia: a critical look. Obstet Gynecol 106, 1385-1387

Krüger W, Kelleher DK, Vaupel P: Messung von Temperaturprofilen in Agarphantomen und vitalem Muskelgewebe bei Erwärmung mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung; in: Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten, 2. Auflage; hrsg. v. Vaupel P, Krüger W; Hippokrates, Stuttgart 1995, 81-92

Lange S, Bender R (2001): Was ist ein Signifikanztest? Dtsch. Med. Wschr. 126: T42-T44

Lang TR, Hartman TK, Hintz SR, Colby CE (2007): Hypothermia for the treatment of neonatal ischemic encephalopathy: is the genie out of the bottle? Am J Perinatol 24, 27-31

Meyer MP (2003): Swaddling and heat loss. Arch Dis Child Fetal Neonatal 88, F256

Newton T, Watkinson M (2003): Preventing hypothermia at birth in preterm babies: at a cost of overheating some? Arch Dis Child Fetal Neonatal 88, F256

Rzeznik J: Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung; in: Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten, 2. Auflage; hrsg. v. Vaupel P, Krüger W; Hippokrates, Stuttgart 1995, 29-46

Schröder M: Thermische Protektion des Neu- und Frühgeborenen: Vergleich zwischen konventioneller und wassergefilterter Infrarot-Strahlung. Med Diss, Göttingen 2000

Silbernagl S, Despopoulos A: Wärmehaushalt und Thermoregulation; in: Taschenatlas der Physiologie; 5. Auflage; hrsg. v. Silbernagl S; Thieme, Stuttgart 2001, 222-225

Singer D, Schröder M, Harms K (2000): Vorteile der wassergefilterten gegenüber der herkömmlichen Infrarot-Strahlung in der Neonatologie. Z Geburtsh Neonatol 204, 85-92

Singer D, Benninghoff U, Maurer E, Speer CP (2003): Oberflächen- und Tiefenwirkung von Wärmestrahlern: Welche Unterschiede gibt es? Z Geburtshilfe Neonatol 207 Suppl 1, S36 (V91)

Stolwijk JAJ, Hardy JD (1964): Skin and subcutaneous temperature changes during exposure to intense thermal radiation. J Appl Physiol 20, 1006-1013

Vohra S, Frent G, Campbell V, Abbott M, Whyte R. (1999): Effect of polyethylene occlusive skin wrapping on heat loss in very low birth weight infants at delivery: a randomized trial. J Pediatr 134, 547-551

Vohra S, Roberts RS, Zhang B, Janes M, Schmidt B (2004): Heat Loss Prevention (HeLP) in the delivery room: A randomized controlled trial of polyethylene occlusive skin wrapping in very preterm infants. J Pediatr 145, 750- 753

Witte E (1937): Über die qualitativen und quantitativen Unterschiede in den Strahlungen von Natursonne und therapeutisch benutztem Kunstlicht sowie über eine neue Lampe zur künstlichen Herstellung praktisch sonnengleichen Lichtes. Strahlentherapie 58, 113-124



## 7 Tabellarischer Anhang

Rohdatentabelle der biografischen Daten aller Kinder .....	47
Datenbank der Aufnahmeserie	
- ohne zusätzliche Wärmequelle.....	48
- unter konventioneller IR-Strahlung.....	50
- unter wassergefilterter IR-A-Strahlung.....	52

# Rohdatentabelle der biografischen Daten aller Kinder

Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Patient 7	Patient 8	Patient 9	Patient 10
Geschlecht	männl.	weibl.	männl.	weibl.	weibl.	weibl.	männl.	männl.	weibl.	weibl.
Gestationsalter GA [SSW]	39 3/7	36	36	40	38 1/7	41	40	39 2/7	39 2/7	38 1/7
Geburtsgewicht GG [g]	3.250	2.880	2.580	3.560	3.690	3.370	3.620	3.665	2.820	3.610
Geburtslänge GL [cm]	52	49	46	48	51	52	53	52	53	51
Kopfumfang KU [cm]	36	34	34	33	37	35	36	36	35	36
NApH	7,21	7,39	7,38	7,39	7,3	7,31	7,27	7,29	7,29	7,34
NABE [mmol/l]	-5,7	-1,8	-2,3	-5	-1,8	-1	-5,7	-4,3	-1,8	-0,4
APGAR	9'10'10	6'7'9	10'10'10	9'10'10		10'10'10	8'10'10	8'9'10	10'10'10	9'10'10
Lebensalter LA [d]	2	4	4	5	1	3	2	2	2	4
Aktuelles Gewicht aG [g]	3.140	2.680	2.420	2.480	3.690	3.120	3.400	3.520	2.550	3.380

Aufnahmeserie unter konventioneller IR-Strahlung	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Patient 7	Patient 8	Patient 9	Patient 10	Patient 11
Geschlecht	männl.	männl.	männl.	weibl.	männl.	weibl.	weibl.	weibl.	männl.	männl.	weibl.
Gestationsalter GA [SSW]	37 3/7	37 1/7	37 5/7	39 2/7	40 2/7	41 2/7	39 5/7	40 2/7	38	39 3/7	38 6/7
Geburtsgewicht GG [g]	3.055	2.570	3.850	3.120	3.160	3.720	3.590	3.205	2.940	3.760	3.035
Geburtslänge GL [cm]	47	46	50	50	52	51	51	50	49	55	48
Kopfumfang KU [cm]	34	34	38	35	35	36	36	34	35	37	34
NApH	7,36	7,22	7,23	7,28	7,25	7,29	7,24	7,36	7,24	7,22	7,28
NABE [mmol/l]	-4,6	-4,2	-3,7	-2,2	-11,4	-4,4	-4,9	-2,9	-2,9	-8,7	-6
APGAR	9'10'10	7'10'10	9'10'10	9'10'10	7'9'10	8'9'10	9'10'10	9'10'10	7'9'10	10'10'10	10'10'10
Lebensalter LA [d]	2	4	4	2	3	2	3	3	5	6	2
Aktuelles Gewicht aG [g]	2.840	2.360	3.610	2.880	2.985	3.520	3.440	3.050	2.660	3.610	2.820

Aufnahmeserie unter wIR-A-Strahlung	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Patient 7	Patient 8	Patient 9	Patient 10	Patient 11	Patient 12	Patient 13
Geschlecht	weibl.	männl.	weibl.	männl.	männl.	weibl.	männl.	männl.	männl.	männl.	männl.	weibl.	männl.
Gestationsalter GA [SSW]	36 5/7	41 3/7	41 3/7	39 5/7	40 4/7	39 5/7	41	37 2/7	40 2/7	39 5/7	39 4/7	37 4/7	37 4/7
Geburtsgewicht GG [g]	2.715	3.445	4.170	3.460	3.890	3.350	3.315	2.770	2.985	3.240	3.050	2.790	3.145
Geburtslänge GL [cm]	46	51,5	51	50	52	49	50	47	50	50	49	46	49
Kopfumfang KU [cm]	34	34,5	36	35	35	34	36	33	35	35	35	34	35
NApH	7,25	7,16	7,29	7,23	7,2	7,28	7,28	7,2	7,27	7,38	7,19	7,2	7,26
NABE [mmol/l]	-3,5	-7,7	-3	-6,9	-8	o.A.	-3,2	-7,7	-3,3	-1,3	-10,1	-5	-4
APGAR	9'10'10	9'10'10	9'10'10	10'10'10	9'10'10	9'10'10	9'10'10	9'10'10	9'10'10		8'9'10	10'10'10	10'10'10
Lebensalter LA [d]	3	5	2	4	4	1	4	4	3	2	3	5	5
Aktuelles Gewicht aG [g]	2.640	3.460	4.030	3.180	3.620	3.350	3.340	2.620	2.830	3.130	2.820	2.640	2.880

Datenbank der Aufnahmeserie ohne zusätzliche Wärmequelle Seite 1

Patienten	Dauer U2	Körper										Arm offen					Bein offen				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW	10	11	12	13	MW	14	15	16	17	MW
		Brust		Oberbauch		Unterbauch						OA	EB	UA	Hand		OS	Knie	US	Fuß	
Patient 1 vor...	8	34,6	34,8	34,6	34,8	34,7	34,9	34,7	35,1	35,1	34,8	34,7	34,0	33,8	32,5	33,8	34,0	34,1	33,9	33,1	33,8
bzw.nach der U2		34,3	34,5	34,5	34,3	34,4	34,4	34,4	34,6	34,6	34,4	34,5	33,7	33,4	33,0	33,7	33,7	33,3	33,7		33,6
Patient 2 vor...	7	34,6	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	35,1	35,1	35,1	34,9	34,8	34,1	34,2	34,6	34,4	34,8	33,9	34,4	34,1	34,3
bzw.nach der U2		34,4	34,3	34,4	34,4	34,6	34,4	34,6	34,7	34,6	34,5	34,3	33,8	33,6	33,5	33,8	34,4	33,7	33,9	33,4	33,9
Patient 3 vor...	9	34,8	34,6	34,7	34,9	34,9	34,9	35,0	35,0	35,0	34,9	34,5	33,4	33,3	33,2	33,6	34,5	33,6	33,7	32,9	33,7
bzw.nach der U2		34,1	34,3	34,2	34,4	34,6	34,4	34,4	34,6	34,5	34,4	34,2	32,9	32,4	31,6	32,8	33,7	33,1	33,2	32,3	33,1
Patient 4 vor...	11	34,7	34,8	34,4	35,0	35,0	34,4	34,9	35,0	35,0	34,8	34,0	34,1	33,7	33,4	33,8	34,2	33,7	33,7	34,2	34,0
bzw.nach der U2		34,2	34,2	33,8	34,1	34,4	34,2	34,4	34,5	34,4	34,2	33,7	32,9	32,8	32,5	33,0	33,7	32,5	33,2	32,4	33,0
Patient 5 vor...	10	34,7	34,9	34,6	34,6	34,8	34,8	34,9	35,0	35,1	34,8	34,6	34,2	34,2		34,3	33,6	34,0	34,1	33,3	33,8
bzw.nach der U2		34,4	34,4	34,3	34,3	34,5	34,4	34,4	34,6	34,6	34,4	34,6	34,0	34,4	32,8	34,0	33,7	32,7	33,2		33,2
Patient 6 vor...	13	34,5	34,8	34,6	34,7	34,8	34,8	35,0	34,6	34,8	34,7	34,4	33,1	32,9	31,2	32,9	33,8	32,9	33,3	32,3	33,1
bzw.nach der U2		34,2	34,4	34,0	34,1	34,2	34,2	34,2	33,2	34,5	34,1	33,7	32,8	32,6	30,8	32,5	33,2	32,5	32,9	31,4	32,5
Patient 7 vor...	11	34,8	34,7	34,7	34,7	34,9	34,8	35,0	35,0	34,6	34,8	34,6	33,8	34,0	32,4	33,7	34,2	33,4		33,1	33,6
bzw.nach der U2		34,7	34,5	34,4	34,3	34,6	34,5	34,6	34,4	34,5	34,5	34,6	33,4	33,6	32,7	33,6	33,5	33,0	33,3	32,6	33,1
Patient 8 vor...	10	34,6	35,0	34,6	34,8	34,7	34,8	35,1	35,0	34,9	34,8	34,4	34,1	33,5	32,2	33,6	33,9	32,8	33,1	30,9	32,7
bzw.nach der U2		34,2	34,2	34,1	34,3	34,2	34,2	34,4	34,2	34,6	34,3	34,4	33,4	33,1	32,2	33,3	33,6	32,4	32,7	31,3	32,5
Patient 9 vor...	13	34,0	34,3	34,2	34,4	34,5	34,3	34,6	34,6	34,6	34,4	34,4	33,0	32,7	31,6	32,9	33,1	32,8	32,7	31,8	32,6
bzw.nach der U2		33,7	34,7	33,5	33,8	34,1	34,0	34,0	33,9	34,1	34,0	34,0	32,7	32,5	30,9	32,5	33,7	32,3	32,7	32,1	32,7
Patient 10 vor...	22	34,7	34,8	34,7	34,8	34,8	34,6	34,9	34,8	34,8	34,8	34,6	34,0	33,9	33,5	34,0	34,0	33,3	33,6	32,9	33,5
bzw.nach der U2		34,2	34,2	34,2	34,2	34,4	34,4	34,2	34,2	34,3	34,3	34,4	33,5	33,4	32,9	33,6	33,5	33,1	33,4	31,7	32,9
		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
MW vor U2		34,6	34,8	34,6	34,8	34,8	34,7	34,9	34,9	34,9	34,8	34,5	33,8	33,6	32,7	33,7	34,0	33,5	33,6	32,8	33,5
MW nach U2		34,2	34,4	34,1	34,2	34,4	34,3	34,4	34,3	34,5	34,3	34,2	33,3	33,2	32,2	33,3	33,7	32,9	33,2	32,2	33,0
Temperaturdifferenz		-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4



Patienten	Kopf						Arm						Bein						MW Gesamt	$\Delta T$ vor U2 - $\Delta$ nach U2
	18	19	20	21	MW		22	23	24	MW		25	26	27	MW					
	Stirn	Schläfe	Wange	Nase			OA	EB	UA			OS	Knie	US						
Patient 1 vor...	33,9	34,4	33,9	32,2	33,6	33,5	34,0	33,6	33,7	33,7	33,8	33,7	33,7	33,8	33,7				34,1	-0,17
bzw.nach der U2			33,5		33,5	33,7	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,2	33,4	33,6	33,4				33,9	
Patient 2 vor...	34,0	34,4	34,1	34,3	34,2	34,2	34,4	34,3	34,3	34,3	34,3	34,6	34,0	34,2	34,3				34,5	-0,43
bzw.nach der U2	34,2	34,5	33,7	33,8	34,1	33,5	33,7	33,8	33,7	33,7	34,1	33,7	34,1	33,7	34,0				34,1	
Patient 3 vor...	33,7	34,5	33,1	32,0	33,3	33,4	33,2	32,9	33,2	33,2	33,5	33,8	33,4	33,4	33,6				33,9	-0,46
bzw.nach der U2	33,7	34,5	32,9	31,8	33,2	33,1	32,7	32,5	32,8	33,3	33,6	33,1	33,3	33,3	33,3				33,5	
Patient 4 vor...	33,5	34,3	33,1	32,2	33,3	33,3	33,5	33,6	33,5	33,5	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0				34,1	-0,69
bzw.nach der U2	33,2	34,2	32,9	30,7	32,8	33,1	32,8	32,9	32,9	32,9	33,5	32,6	33,3	33,3	33,1				33,4	
Patient 5 vor...	33,5	34,0	33,3	32,2	33,3	34,2	33,7	33,8	33,9	33,9	34,2	33,8	33,8	33,8	33,9				34,2	-0,27
bzw.nach der U2	33,9	34,2	33,4	32,1	33,4	33,7	33,5	33,7	33,6	33,6	34,0	33,4	33,6	33,6	33,7				33,9	
Patient 6 vor...	34,0	34,2	33,0	31,6	33,2	32,9	33,0	32,1	32,7	32,7	33,4	32,9	32,9	32,9	33,1				33,6	-0,44
bzw.nach der U2	33,7	34,0	33,2	32,0	33,2	33,0	32,7	31,6	32,4	32,4	32,8	32,1	32,6	32,6	32,5				33,1	
Patient 7 vor...	33,7	34,5	33,3	32,0	33,4	33,7	33,3	33,7	33,6	33,6	34,0	33,6	33,8	33,8	33,8				34,0	-0,27
bzw.nach der U2	34,0	33,9	33,5	31,8	33,3	33,6	33,3	33,5	33,5	33,5	33,5	33,2	33,5	33,4	33,4				33,7	
Patient 8 vor...	33,7	34,2	34,0	32,9	33,7	34,2	33,5	33,9	33,9	33,9	33,5	32,9	33,1	33,2	33,2				33,9	-0,40
bzw.nach der U2	33,4	34,0	33,5	31,3	33,1	33,7	33,3	33,4	33,5	33,5	33,6	32,9	32,8	33,1	33,1				33,5	-0,30
Patient 9 vor...	33,0	33,3	33,1	31,6	32,8	33,3	32,9	32,7	33,0	33,0	32,7	32,7	33,3	32,9	32,9				33,3	
bzw.nach der U2	32,8	33,2	32,5	30,7	32,3	32,9	32,6	32,4	32,6	32,6	32,9	32,4	32,9	32,9	32,7				33,0	
Patient 10 vor...	33,5	34,2	33,7	31,8	33,3	33,4	34,0	34,0	33,8	33,8	33,9	33,4	34,0	34,0	33,8				34,0	-0,44
bzw.nach der U2	33,5	34,0	33,4	31,2	33,0	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,1	33,4	33,4	33,3				33,6	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.					
MW vor U2	33,6	34,2	33,5	32,3	33,4	33,6	33,6	33,5	33,5	33,5	33,8	33,5	33,6	33,6	33,6				34,0	-0,39
MW nach U2	33,6	34,1	33,3	31,7	33,2	33,4	33,2	33,1	33,2	33,2	33,5	33,0	33,3	33,3	33,3				33,6	
Temperaturdifferenz	0,0	-0,1	-0,2	-0,6	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4				-0,4	

Datenbank der Aufnahmeserie unter konventioneller IR-Strahlung Seite 1

Patienten	Dauer U2	Körper									Arm offen					Bein offen											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW	10	11	12	13	MW	14	15	16	17	MW						
		Brust			Oberbauch			Unterbauch				OA	EB	UA	Hand		OS	Knie	US	Fuß							
Patient 1 vor...	10	35,6	35,5	35,8	35,6	36,1	35,7	36,1	35,9	35,8	35,8						35,5	35,2	34,8	33,5	34,8	35,5	35,0	35,5	34,6	35,2	
bzw.nach der U2		35,5	35,7	35,9	35,7	36,1	35,9	35,7	35,9	35,8	35,8						35,8	35,5	35,8	35,0	35,5	35,5	35,3	34,7	34,8	34,1	34,7
Patient 2 vor...	9	35,7	35,8	35,5	35,5	35,7	35,4	35,6	35,3	35,5	35,6						35,2	34,3	34,4	31,5	33,9	34,9	34,8	34,3	31,9	34,0	
bzw.nach der U2		35,1	35,4	35,3	35,4	35,4	35,3	35,7	35,1	35,5	35,4						34,8	34,2			34,5	34,7	34,3	33,6		34,2	
Patient 3 vor...	8	35,0	35,1	35,0	35,1	35,1	34,9	35,3	35,3	35,3	35,1						34,8	33,7	33,5	32,1	33,5	34,0	33,5	33,4	31,7	33,2	
bzw.nach der U2		34,9	35,0	35,2	35,0	35,2	35,0	35,2	35,1	35,2	35,1						35,0	34,4	34,0	32,5	34,0	34,4	34,0	34,0	32,0	33,6	
Patient 4 vor...	10	34,8	35,3	35,0	35,2	35,1	35,2	35,3	35,2	35,1	35,1						34,8	33,7	33,2	31,5	33,3	34,8	34,2	34,2	32,9	34,0	
bzw.nach der U2		34,7	34,9	34,8	35,0	35,0	34,7	35,3	36,0	34,9	35,0						34,3	33,9	34,0	33,7	34,0	34,6	34,2	34,4	32,1	33,8	
Patient 5 vor...	11	35,0	35,2	35,2	35,5	35,4	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3						35,3	33,9	33,8	31,9	33,7	34,8	34,0	33,4	32,0	33,6	
bzw.nach der U2		34,8	35,3	34,6	35,3	35,3	35,1	35,3	35,3	35,2	35,1						34,9	33,7	34,0	32,2	33,7	34,6	34,1	33,7	32,6	33,8	
Patient 6 vor...	8	35,1	35,3	35,4	35,3	35,6	35,7	35,5	35,5	35,3	35,4						34,6	34,4	33,5	31,7	33,6	34,6	34,0	33,5	31,4	33,4	
bzw.nach der U2		35,2	35,5	35,4	35,2	35,5	35,5	35,1	35,0	35,0	35,3						34,9	34,2	33,9	32,4	33,9	34,6	33,7	33,5	31,9	33,4	
Patient 7 vor...	9	35,2	35,2	35,1	35,3	35,3	35,4	35,3	35,3	35,4	35,3						35,1	34,4	34,3	34,3	34,5	34,8	34,6	34,8	34,4	34,7	
bzw.nach der U2		34,9	35,0	34,8	34,9	34,9	34,9	35,2	35,0	35,3	35,0						34,8	34,0	34,0	33,7	34,1	34,2	33,7	33,8	34,0	33,9	
Patient 8 vor...	12	34,6	34,8	34,6	34,9	35,0	35,0	34,9	35,2	35,3	34,9						34,7	34,8	34,4	33,5	34,4	34,6	33,7	33,9	31,9	33,5	
bzw.nach der U2		35,2	35,2	35,0	35,2	35,5	35,3	35,3	35,5	35,3	35,3						34,8	34,6	34,6	33,3	34,3	34,6	34,2	33,9	33,1	34,0	
Patient 9 vor...	8	34,4	34,4	34,3	34,6	34,7	34,8	35,0	35,3	35,4	34,8						34,2	33,3	33,3	32,1	33,2	33,9	33,5	33,1	31,6	33,0	
bzw.nach der U2		34,8	34,6	34,6	34,5	34,8	34,7	35,3	35,1	34,8	34,8						33,9	33,7	33,8	33,3	33,7	33,9	33,5	33,3	32,0	33,2	
Patient 10 vor...	9	35,1	35,4	35,3	35,1	35,3	34,9	35,2	35,4	34,9	35,2						34,6	34,0	34,1	32,7	33,9	34,9	34,4	34,3	34,6	34,6	
bzw.nach der U2		35,0	35,7	35,8	35,0	35,3	35,1	35,4	35,0	34,8	35,2						35,0	34,3	34,5	33,5	34,3	35,0	34,8	34,1	34,3	34,6	
Patient 11 vor...	4	35,3	35,5	35,3	35,7	35,5	35,4	35,7	35,4	35,5	35,5						35,7	35,2	34,9	32,9	34,7	34,4	34,0	33,9	33,0	33,8	
bzw.nach der U2		35,2	35,3	35,0	35,6	35,5	35,3	35,5	35,8	35,6	35,4						35,4	35,0	35,6	33,3	34,8	34,1	34,6	34,0	32,9	33,9	

MW vor U2	35,1	35,2	35,1	35,3	35,3	35,2	35,4	35,4	35,3	35,3	35,3	35,0	34,3	34,0	32,5	33,9	34,7	34,2	34,0	32,7	33,9
MW nach U2	35,0	35,2	35,1	35,2	35,3	35,2	35,4	35,3	35,2	35,2	35,2	34,9	34,3	34,4	33,3	34,3	34,5	34,2	33,9	32,9	33,9
Temperaturdifferenz	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,4	0,8	0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,0



Patienten	Kopf					Arm					Bein				MW Gesamt	Δ T vor U2 - Δ nach U2
	18	19	20	21	MW	22	23	24	MW	25	26	27	MW			
	Stirn	Schläfe	Wange	Nase		OA	EB	UA		OS	Knie	US				
Patient 1 vor...	34,5	35,0	35,0	33,7	34,6	35,2	34,8	34,4	34,8	35,3	34,8	34,9	35,0	35,2	0,2	
bzw.nach der U2	35,0	35,5	35,9	34,5	35,2	35,2	35,0	35,1	35,1	35,0	34,6	34,9	34,8	35,3		
Patient 2 vor...	34,5	35,7	33,8	33,0	34,3	34,4	33,9	34,0	34,1	33,9	34,2	33,8	34,0	34,5	0,1	
bzw.nach der U2	35,0	34,4	33,9	32,4	33,9	34,6	34,4	34,0	34,3	34,2	34,2	33,9	34,1	34,6		
Patient 3 vor...	34,8	35,0	34,6	32,1	34,1	34,0	33,3	33,1	33,5	34,0	33,7	33,6	33,8	34,1	0,2	
bzw.nach der U2	34,7	35,1	34,9	32,3	34,3	34,4	34,0	33,8	34,1	34,3	33,9	33,8	34,0	34,3		
Patient 4 vor...	34,1	34,8	34,2	33,5	34,2	34,4	34,2	34,3	34,3	34,4	34,2	33,7	34,1	34,3	0,1	
bzw.nach der U2	34,5	35,4	35,3	33,7	34,7	34,0	33,9	33,9	33,9	34,2	34,0	34,3	34,2	34,4		
Patient 5 vor...	34,5	35,5	34,4	33,1	34,4	34,2	33,7	33,9	33,9	33,8	33,6	33,5	33,6	34,3	0,0	
bzw.nach der U2	34,7	34,8	34,2	33,3	34,3	34,1	33,8	33,6	33,8	34,2	33,7	33,8	33,9	34,3		
Patient 6 vor...	34,5	32,5	34,0	31,8	33,2	34,0	33,8	33,3	33,7	34,0	33,7	33,5	33,7	34,1	0,2	
bzw.nach der U2	34,9	35,0	34,6	32,9	34,4	34,2	33,7	33,6	33,8	34,0	33,9	34,0	34,0	34,3		
Patient 7 vor...	34,4	34,9	34,2	32,7	34,1	34,2	34,4	34,4	34,3	34,6	34,4	34,7	34,6	34,7	-0,4	
bzw.nach der U2	34,7	34,8	34,4	32,3	34,1	33,6	34,2	34,2	34,0	34,4	33,9	33,9	34,1	34,4		
Patient 8 vor...	33,5	34,5	33,3	31,8	33,3	33,5	33,5	33,4	33,5	34,1	34,0	34,4	34,2	34,1	0,4	
bzw.nach der U2	34,3	34,5	34,4	33,2	34,1	33,7	33,8	33,7	33,7	34,6	34,1	34,5	34,4	34,5		
Patient 9 vor...	33,5	33,8	32,6	31,2	32,8	33,3	33,3	33,5	33,4	33,5	33,3	33,2	33,3	33,7	0,3	
bzw.nach der U2	34,2	34,7	34,0	32,0	33,7	33,7	33,7	33,5	33,6	33,8	33,4	33,7	33,6	34,0		
Patient 10 vor...	34,2	34,5	33,8	32,6	33,8	33,7	34,0	34,1	33,9	34,3	34,0	34,0	34,1	34,4	0,2	
bzw.nach der U2	34,7	35,2	34,2	33,0	34,3	34,0	34,0	34,4	34,1	34,2	34,2	34,0	34,1	34,6		
Patient 11 vor...	34,5	34,8	34,8	33,2	34,3	34,6	34,6	34,5	34,6	34,5	34,2	34,1	34,3	34,7	0,0	
bzw.nach der U2	35,3	35,5	35,2	33,1	34,8	34,4	34,3	34,5	34,4	34,3	34,0	34,1	34,1	34,8		
MW vor U2	34,3	34,6	34,1	32,6	33,9	34,1	34,0	33,9	34,0	34,2	34,0	33,9	34,1	34,4	0,1	
MW nach U2	34,7	35,0	34,6	33,0	34,3	34,2	34,1	34,0	34,1	34,3	34,0	34,1	34,1	34,5		
Temperaturdifferenz	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1		

Datenbank der Aufnahmeserie unter wIR-A-Stahlung Seite 1

Patienten	Dauer U2	Körper										Arm offen					Bein offen				
		Brust					Oberbauch					Unterbauch					Hand				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	MW	10	11	12	13	MW	14	15	16	17	MW
Patient 1 vor	9	34,7	34,8	34,9	35,0	35,0	35,0	35,3	35,4	35,0	35,0	34,9	34,1	33,9	32,2	33,8	34,5	33,5	33,7	32,3	33,5
...bzw nach U2		34,6	34,8	34,4	34,8	34,6	34,5	35,3	34,9	35,3	34,8	34,3	33,5	33,3	32,6	33,4	34,4	33,3	33,5	32,8	33,5
Patient 2 vor	5	34,5	34,6	34,6	34,7	34,5	34,8	35,0	34,8	34,7	34,7	34,2	34,1	33,7	31,5	33,4	33,8	33,1	32,9	31,4	32,8
...bzw nach U2		33,9	33,9	33,8	34,3	34,4	34,2	34,6	34,7	34,4	34,2	33,8	32,9	31,8	30,9	32,4	33,7	32,7	33,1	32,0	32,9
Patient 3 vor	6	34,7	35,0	34,6	34,8	34,9	34,6	35,2	35,0	35,0	34,9	34,5	33,4	32,9	30,9	32,9	33,7	33,3	32,9	31,0	32,7
...bzw nach U2		34,1	34,3	33,7	34,6	34,6	34,6	35,3	34,6	34,8	34,5	34,0	33,3	32,3	30,7	32,6	33,6	33,1	32,4	30,7	32,5
Patient 4 vor	6	34,6	34,6	34,5	34,9	34,8	34,9	35,0	34,8	34,8	34,8	34,2	33,2	32,5	31,7	32,9	34,5	33,7	33,6	32,6	33,6
...bzw nach U2		34,4	34,2	34,1	34,7	34,6	34,4	34,8	34,8	34,8	34,5	34,0	33,4	33,1	31,2	32,9	33,4	33,3	33,2	32,2	33,0
Patient 5 vor	5	34,5	34,5	34,4	34,8	34,4	34,4	34,6	34,6	34,4	34,5	33,6	33,3	32,6	30,4	32,5	34,1	33,3	33,3	32,0	33,2
...bzw nach U2		34,1	34,0	33,9	34,2	34,0	34,2	34,2	34,2	34,4	34,1	34,4	33,4	33,1	32,0	33,2	33,3	32,9	33,0	32,0	32,8
Patient 6 vor	6	34,5	34,6	34,5	34,7	34,6	34,6	35,0	35,1	34,8	34,7	34,6	34,0	33,0	31,0	33,2	34,1	33,5	33,2	32,7	33,4
...bzw nach U2		34,4	34,7	33,9	34,7	34,4	34,3	34,8	35,1	34,6	34,5	34,3	33,5	32,1	31,4	32,8	34,1	33,0	33,0	31,8	33,0
Patient 7 vor	9	34,3	34,4	34,3	34,4	34,5	34,5	35,0	34,8	34,8	34,6	34,2	33,1	32,2	31,7	32,8	33,7	32,4	32,9	31,4	32,6
...bzw nach U2		34,4	34,4	34,2	34,7	34,9	34,6	34,7	34,8	34,9	34,6	34,6	33,9	33,6	32,0	33,5	33,7	32,7	33,1	31,8	32,8
Patient 8 vor	9	34,6	34,7	34,5	34,8	34,7	34,5	35,0	34,9	35,0	34,7	34,4	33,3	32,8	30,8	32,8	34,1	33,8	33,8	32,0	33,4
...bzw nach U2		34,5	34,5	34,3	34,7	34,6	34,4	34,9	34,2	35,0	34,6	34,0	34,4	33,5	31,1	33,3	33,8	33,2	33,0	32,1	33,0
Patient 9 vor	5	34,8	34,8	34,9	35,0	34,8	34,8	35,1	35,0	35,2	34,9	34,8	34,3	34,0	34,1	34,3	34,0	33,8	33,5	31,6	33,2
...bzw nach U2		34,3	34,0	34,2	34,4	34,4	34,3	34,7	34,8	34,8	34,4	33,8	33,5	33,6	33,3	33,6	33,5	33,2	33,5	32,0	33,1
Patient 10 vor	8	34,8	34,6	34,5	34,8	34,9	34,7	35,5	35,0	35,5	34,9	34,6	33,5	33,0	31,0	33,0	33,1	33,1	32,9	32,0	32,8
...bzw nach U2		34,7	34,8	34,3	35,0	35,0	34,6	35,0	35,0	34,6	34,8	34,6	34,4	33,5	32,2	33,7	34,4	33,7	33,2	32,0	33,3
Patient 11 vor	8	34,8	35,0	34,7	34,9	34,9	35,0	35,3	35,3	35,4	35,0	34,2	33,5	33,1	30,7	32,9	34,6	34,0	34,0	33,0	33,9
...bzw nach U2		34,6	34,6	34,4	34,8	34,9	34,8	35,5	35,0	35,3	34,9	34,8	33,7	33,4	31,8	33,4	34,6	33,5	33,6	32,9	33,7
Patient 12 vor	9	34,8	34,8	34,7	35,0	35,2	34,8	35,3	35,1	34,9	35,0	34,4	33,3	32,9	32,5	33,3	34,0	33,5	33,8	33,1	33,6
...bzw nach U2		33,8	34,2	33,6	34,4	34,4	34,0	34,7	34,8	34,6	34,3	33,6	33,3	33,4	33,1	33,4	33,8	33,5	33,5	32,9	33,4
Patient 13 vor	6	34,7	34,8	34,5	34,9	34,7	34,6	35,3	35,2	35,1	34,9	34,8	33,9	34,0	34,2	34,2	34,4	33,3	33,7	32,7	33,5
...bzw nach U2		35	35	34	35	34,6	35	35	35	35	34,7	34,2	33,5	33,7	33,7	33,8	34,2	33,3	33,4	32,4	33,3
MW vor U		34,6	34,7	34,6	34,8	34,8	34,7	35,1	35,0	35,0	34,8	34,4	33,6	33,1	31,7	33,2	34,0	33,4	33,4	32,1	33,2
MW nach U		34,4	34,4	34,1	34,6	34,6	34,4	34,9	34,8	34,8	34,5	34,2	33,6	33,1	32,0	33,2	33,9	33,2	33,2	32,1	33,1
Temperaturdifferenz		-0,3	-0,3	-0,5	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,2



Patienten	Kopf						Arm				Bein				MW Gesamt	$\Delta T$ vor U2 - $\Delta$ nach U2
	18	19	20	21	MW		22	23	24	MW	25	26	27	MW		
	Stirn	Schläfe	Wange	Nase			OA	EB	UA		OS	Knie	US			
Patient 1 vor	34,1	34,6	33,7	31,8	33,6		34,2	33,7	33,7	33,9	34,5	33,9	34,2	34,2	34,2	-0,1
...bzw nach U2	34,6	34,6	34,0	32,6	34,0		33,7	33,7	33,6	33,7	34,0	33,8	33,8	33,9	34,0	
Patient 2 vor	33,4	34,0	32,6	30,9	32,7		33,1	32,5	31,8	32,5	33,6	33,3	32,7	33,2	33,5	-0,3
...bzw nach U2	33,7	34,2	33,5	31,3	33,2		32,7	32,3	31,7	32,2	33,5	33,0	32,8	33,1	33,3	
Patient 3 vor	33,7	34,3	33,5	31,8	33,3		33,7	33,4	33,2	33,4	34,1	33,5	32,7	33,4	33,7	-0,2
...bzw nach U2	33,7	34,3	33,3	33,4	33,7		33,5	33,2	32,7	33,1	33,7	33,3	32,9	33,3	33,5	
Patient 4 vor	33,7	33,9	32,5	31,4	32,9		34,0	33,3	32,7	33,3	34,4	33,8	33,3	33,8	33,8	-0,1
...bzw nach U2	34,0	34,4	33,3	31,7	33,4		33,2	33,3	32,5	33,0	34,1	33,3	33,6	33,7	33,6	
Patient 5 vor	33,3	33,5	32,9	30,9	32,7		33,5	33,5	33,2	33,4	33,8	33,4	33,5	33,6	33,5	0,0
...bzw nach U2	33,4	33,6	33,1	31,9	33,0		33,7	33,5	33,1	33,4	33,7	33,3	33,2	33,4	33,5	
Patient 6 vor	33,1	33,7	32,9	31,3	32,8		33,4	33,8	33,2	33,5	34,0	34,0	33,5	33,8	33,8	-0,2
...bzw nach U2	33,8	34,2	32,6	31,9	33,1		33,5	33,5	32,9	33,3	33,9	33,4	33,0	33,4	33,6	
Patient 7 vor	33,4	34,0	33,1	30,7	32,8		33,7	33,4	33,2	33,4	33,5	32,5	32,9	33,0	33,4	0,3
...bzw nach U2	33,6	34,2	33,8	31,1	33,2		34,0	33,7	33,5	33,7	33,7	33,1	33,1	33,3	33,7	
Patient 8 vor	34,0	34,6	33,5	31,8	33,5		33,8	33,6	32,9	33,4	34,3	33,8	33,5	33,9	33,8	-0,1
...bzw nach U2	34,3	34,2	33,8	31,6	33,5		33,4	33,7	32,8	33,3	33,5	33,3	33,8	33,5	33,7	
Patient 9 vor	34,0	34,5	33,5	31,7	33,4		33,9	34,2	34,2	34,1	33,7	33,8	33,5	33,7	34,1	-0,3
...bzw nach U2	34,0	34,0	33,7	32,0	33,4		34,0	33,9	34,0	34,0	33,7	33,7	33,6	33,7	33,8	
Patient 10 vor	33,6	34,2	32,6	31,8	33,1		33,5	33,8	33,6	33,6	33,7	33,3	33,0	33,3	33,7	0,3
...bzw nach U2	34,0	34,6	33,7	32,1	33,6		33,9	33,8	34,0	33,9	33,9	33,9	33,5	33,8	34,0	
Patient 11 vor	33,8	33,7	33,2	32,0	33,2		33,7	33,3	32,8	33,3	34,2	33,6	33,7	33,8	33,9	0,1
...bzw nach U2	34,2	34,4	33,5	32,9	33,8		34,0	33,7	33,5	33,7	34,1	33,7	33,6	33,8	34,1	
Patient 12 vor	33,9	34,4	33,6	31,4	33,3		33,6	33,6	33,4	33,5	34,1	34,0	33,8	34,0	34,0	-0,3
...bzw nach U2	33,7	34,0	33,1	31,7	33,1		33,5	33,4	33,7	33,5	34,1	33,4	33,9	33,8	33,7	
Patient 13 vor	33,6	34,6	33,9	31,6	33,4		34,0	33,8	33,8	33,9	33,8	33,5	33,9	33,7	34,1	-0,2
...bzw nach U2	33,7	34,6	33,7	31,9	33,5		33,7	33,9	33,5	33,7	33,9	33,7	33,9	33,8	34,0	
MW vor U	33,7	34,2	33,2	31,5	33,1		33,7	33,5	33,2	33,5	34,0	33,6	33,4	33,6	33,8	-0,1
MW nach U	33,9	34,3	33,5	32,0	33,4		33,6	33,5	33,2	33,4	33,8	33,5	33,4	33,6	33,7	
Temperaturdifferenz	0,2	0,1	0,3	0,5	0,3		-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	



## **Danksagung**

Zunächst gilt mein ausgesprochener Dank Herrn Professor Dr. med. Dominique Singer für die Vergabe des Themas, die Bereitstellung zahlreicher Hintergrunddaten sowie für die vielen hilfreichen Diskussionen und Korrekturen. Auch nach dem Wechsel seines Wirkungsbereichs von Würzburg nach Hamburg wurde ich von ihm persönlich, telefonisch und per Email intensiv betreut und anregend unterstützt.

Herrn Professor Dr. med. Christian P. Speer, FRCPE, Direktor der Kinderklinik des Universitätsklinikums Würzburg, danke ich für die Möglichkeit, unter seiner Leitung zu dissertieren.

Herrn Professor Dr. med. Johannes Dietl, Direktor der Frauenklinik des Universitätsklinikums Würzburg, danke ich für seine schnelle und unkomplizierte Bereitschaft, meine Arbeit als Korreferent zu betreuen.

Ein großer Dank geht an meine Familie, die mich immer in allen Belangen unterstützte und mir zur Seite stand.

## **Lebenslauf Verena Löwe**

1987-1991: Grundschule in Würzburg-Rottenbauer

1991-2001: Matthias-Grünewald-Gymnasium in Würzburg

2001-2008: Medizinstudium an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

November 2008: Staatsexamen

Famulaturen:

- Unfallchirurgie im Zentrum für Operative Medizin, Würzburg
- Policlinica San Carlos, Denia, Spanien
- Radiologische Gemeinschaftspraxis, Nürnberg
- Innere Medizin, Kreiskrankenhaus Berchtesgaden
- Allgemeinarztpraxis, Neumarkt i.d.Opf.

### **Familiäres:**

Eltern: Hedwig und Wolfgang Schmock

Geschwister: Tanja, 30 Jahre

Familienstand: verheiratet mit Tobias Löwe

Konfession: katholisch

Kinder: Leander Maximilian Löwe, geboren am 13.01.2004;

Demian Paul Löwe, geboren am 08.10.2006